



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

INGRIDY MIKAELLY PEREIRA SOUSA

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS QUEIMADAS POR MEIO DE ÍNDICES
ESPECTRAIS EM REGIÕES DO CERRADO TOCANTINENSE**

**GURUPI - TO
2017**



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

INGRIDY MIKAELLY PEREIRA SOUSA

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS QUEIMADAS POR MEIO DE ÍNDICES ESPECTRAIS EM REGIÕES DO CERRADO TOCANTINENSE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Giongo

Coorientador: Dr. Edmar Vinícius de Carvalho

**GURUPI - TO
2017**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
(CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do
Tocantins**

- S725i Sousa, Ingridy Mikaelly Pereira.
 Identificação de áreas queimadas por meio de índices
 espectrais em regiões do cerrado tocantinense. / Ingridy
 Mikaelly Pereira Sousa. – Gurupi, TO, 2017.
 60 f.
- Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal
 do Tocantins - Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-
 Graduação (Mestrado) em Ciências Florestais e Ambientais,
 2017.
- Orientador: Marcos Glongo
 Coorientador: Edmar Vinicius De Carvalho
1. Fogo. 2. Comportamento espectral. 3. Dados orbitais. 4.
 Monitoramento ambiental. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS - A reprodução total ou parcial, de
qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado
desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº
9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha
catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).**

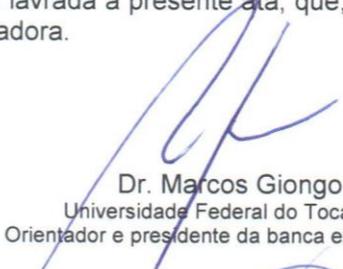


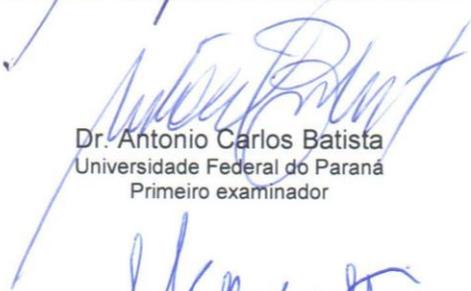
Defesa nº 058/2017

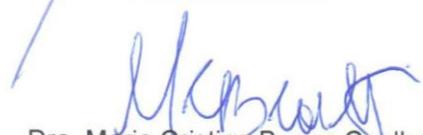
ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE INGRIDY MIKAELLY PEREIRA SOUSA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS.

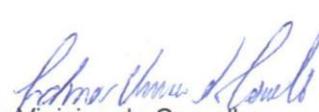
Aos 07 dias do mês de julho do ano de 2017, às 14 horas, na sala Angelim Pedra, do edifício do Centro de Monitoramento Ambiental e Manejo do Fogo (CeMAF), no Campus de Gurupi, da Universidade Federal do Tocantins – UFT, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. MARCOS GIONGO da Universidade Federal do Tocantins, Prof. Dr. ANTONIO CARLOS BATISTA da Universidade Federal do Paraná, Profa. Dra. MARIA CRISTINA BUENO COELHO da Universidade Federal do Tocantins, Prof. Dr. EDMAR VINICIUS DE CARVALHO da Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de INGRIDY MIKAELLY PEREIRA SOUSA, intitulada "**Identificação de áreas queimadas por meio de índices espectrais em regiões do cerrado tocantinense**". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, com as devidas ressalvas e correções apontadas pela banca examinadora, habilitando-a ao título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Dr. Marcos Giongo
Universidade Federal do Tocantins
Orientador e presidente da banca examinadora


Dr. Antonio Carlos Batista
Universidade Federal do Paraná
Primeiro examinador


Dra. Maria Cristina Bueno Coelho
Universidade Federal do Tocantins
Segundo examinador


Dr. Edmar Vinicius de Carvalho
Universidade Federal do Tocantins
Terceiro examinador

Gurupi, 07 de julho de 2017.


Marcos Giongo
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais

DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTO

A todos que contribuíram para que essa jornada se tornasse mais leve, meus sinceros agradecimentos. À Deus, que com seu amor me sustentou até aqui e onde sempre encontrei forças para continuar. À minha família, que me deu todo o apoio e suporte para que pudesse avançar nos meus objetivos, suportando a distância e sempre me impulsionando a ir além. Aos meus amigos e irmãos de caminhada, que com sinceridade souberam me amar, acolher, compreender e que não mediram esforços para me ajudar sempre que precisei. A equipe de trabalho do CeMAF, a qual sou muito orgulhosa por fazer parte, agradeço todo o empenho, a competência e o companheirismo que tiveram comigo. Ao meu coorientador, Dr. Edmar Vinícius que tanto contribuiu e acompanhou o andamento desse trabalho. Ao meu orientador Dr. Marcos Giongo, pela grande oportunidade de trabalhar junto a essa equipe, por todo o aprendizado e conhecimento repassado. Por fim agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da UFT - campus Gurupi e a CAPES pela incentivo e apoio a pesquisa.

RESUMO

A obtenção de informações sobre áreas queimadas vem sendo estudada e aprimorada nas últimas décadas, a grande questão está baseada na aquisição de dados consistentes e detalhados sobre a ocorrência de queimadas de forma simples e eficaz. Diante disso, o sensoriamento remoto se apresenta como uma ferramenta de elevado interesse, pois possibilita obter informações em áreas extensas e de difícil acesso, sendo possível a identificação de áreas queimadas em função do comportamento espectral das mesmas. Neste trabalho, o objetivo foi analisar o desempenho de índices espectrais na identificação de área queimada em imagens do satélite OLI/Landsat-8 em três regiões de cerrado Tocantinense. Para isso foram calculados os índices espectrais em imagens antes e depois do fogo, os quais utilizaram as bandas do vermelho e do infravermelho próximo: NDVI, MSAVI, SAVI, GEMI; e as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas: NBR, BAIM_{mod}, MIRBI_{mod}. Posteriormente, foi calculada a diferença entre cada índice pré e pós-fogo: dNDVI, dMSAVI, dSAVI, dGEMI, dNBR, dBAIM_{mod} e dMIRBI_{mod}. A partir desses índices, foram criadas seis diferentes composições (RGB) e que posteriormente foram segmentadas e classificadas de forma supervisionada para a extração da área de interesse (área queimada). Os resultados dessa classificação foram validados com os dados de referência obtidos através da interpretação visual de imagem, em que os métodos apresentaram semelhança entre si, havendo uma pequena diferença no desempenho dos métodos nas áreas estudadas, com uma porcentagem de acerto variando de 65,83 a 83,01% para a Área 1, de 62,9 a 76,3% para a Área 2 e de 85,54 a 92,46% na Área 3 e, segundo os valores Kappa obtidos, o desempenho dos métodos é classificado de muito bom a excelente.

Palavras-chave: fogo; comportamento espectral; dados orbitais.

ABSTRACT

Obtaining information on burned areas has been studied and improved in the last decades, and the biggest question is to acquire consistent and detailed information about the occurrence of burnings in a simple and effective way. In view of this remote sensing is a very interesting tool because it allows obtaining information in large areas and difficult to access. The identification of the areas burned by orbital data is directly related to their spectral behavior. The objective of this work was to analyze the performance of spectral indices in the identification of burned area in OLI / Landsat-8 satellite images to three areas of tocantinense Cerrado. For this the indexes for the before and after fire images were calculated, using bands of red and near infrared: NDVI, MSAVI, SAVI, GEMI and bands of near infrared and short wave infrared: NBR, BAIM_{mod}, MIRBI_{mod}, as well as to calculate the difference between pre and post-fire index: dNDVI, dMSAVI, dSAVI, dGEMI, dNBR, dBAIM_{mod} and dMIRBI_{mod}. From these indices, six different compositions (RGB) were created and later they were segmented and classified in a supervised way and soon after the extraction of the area of interest. The results of this classification were validated with the reference data obtained through the visual interpretation of the image, where the methods showed a great similarity between them, has been a small difference in performance of methods in the areas studied, with percentage of accuracy ranging from 65,83 to 83,01% to area 1, to area 2 from 62,9 to 76,3% and in the area 3 from 85,54 a 92,46% and according Kappa value, the performance of methods is classified from very good to excellent.

Keywords: fire; spectral behavior; orbital data.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1	FOGO NO CERRADO	9
2.2	SENSORIAMENTO REMOTO NO MONITORAMENTO DE ÁREAS QUEIMADAS	10
2.3	PROPRIEDADES ESPECTRAIS DAS ÁREAS QUEIMADAS	11
2.4	ÍNDICES ESPECTRAIS	12
2.5	SEGMENTAÇÃO DE IMAGEM	14
2.6	CLASSIFICAÇÃO DIGITAL	15
2.6.1	<i>Classificação supervisionada</i>	15
2.6.2	<i>Classificação não-supervisionada</i>	16
2.7	ACURACIDADE DA CLASSIFICAÇÃO	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	ÁREA DE ESTUDO	19
3.2	AQUISIÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTO DE IMAGENS	20
3.3	PROCESSAMENTO DE IMAGENS	21
3.3.1	<i>Metodologia de referência</i>	21
3.3.2	<i>Metodologia semiautomática</i>	22
1.1.1.1	<i>Cálculo de índices espectrais</i>	22
1.1.1.2	<i>Composição colorida de índices</i>	23
1.1.1.3	<i>Segmentação e classificação de imagem</i>	24
3.4	ANÁLISE DE ACURÁCIA	25
3.5	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS QUEIMADAS POR CLASSE DE TAMANHO	25
3.6	OBTENÇÃO DOS VALORES DE REFLECTÂNCIA	26
3.7	ÁREA QUEIMADA POR CLASSE DE COBERTURA DO SOLO	26
3.8	ERROS DE OMISSÃO E COMISSÃO POR CLASSE DE COBERTURA E USO DO SOLO	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1	DISTRIBUIÇÃO DOS POLÍGONOS DE ÁREAS QUEIMADAS POR CLASSE DE TAMANHO	33
4.2	REFLECTÂNCIA DAS CICATRIZES DE QUEIMADAS	36
4.3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA QUEIMADA POR CLASSE DE COBERTURA E USO DO SOLO	38
4.4	ERROS DE COMISSÃO E OMISSÃO POR CLASSE DE COBERTURA E USO DO SOLO	40
5	CONCLUSÕES	44
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. ÍNDICES ESPECTRAIS UTILIZADOS, SUAS RESPECTIVAS EQUAÇÕES E REFERÊNCIA	23
TABELA 2. IDENTIFICAÇÃO DO MÉTODO E SUA RESPECTIVA COMPOSIÇÃO	24
TABELA 3. VALORES DO ÍNDICE KAPPA PARA A CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE SEGUNDO LANDIS E KOCH (1977).....	25
TABELA 4. CLASSES DE TAMANHO DAS QUEIMADAS	26
TABELA 5. ÁREA QUEIMADA, EM HECTARES, IDENTIFICADA POR CADA MÉTODO, ÁREA DE INTERSECÇÃO ENTRE O MÉTODO E A REFERÊNCIA (MANUAL), ERROS DE OMISSÃO E COMISSÃO E ÍNDICE KAPPA PARA A ÁREA 1.	28
TABELA 6. ÁREA QUEIMADA, EM HECTARES, IDENTIFICADA POR CADA MÉTODO, ÁREA DE INTERSECÇÃO ENTRE O MÉTODO E A REFERÊNCIA (MANUAL), ERROS DE OMISSÃO E COMISSÃO E ÍNDICE KAPPA PARA A ÁREA 2.	29
TABELA 7. ÁREA QUEIMADA, EM HECTARES, IDENTIFICADA POR CADA MÉTODO, ÁREA DE INTERSECÇÃO ENTRE O MÉTODO E A REFERÊNCIA (MANUAL), ERROS DE OMISSÃO E COMISSÃO E ÍNDICE KAPPA PARA A ÁREA 3.	30
TABELA 8. NÚMERO DE POLÍGONOS E ÁREA CORRESPONDENTE DISTRIBUÍDOS POR CLASSES DE TAMANHO PARA A ÁREA 1.....	33
TABELA 9. NÚMERO DE POLÍGONOS E ÁREA CORRESPONDENTE DISTRIBUÍDOS POR CLASSES DE TAMANHO PARA A ÁREA 2.....	34
TABELA 10. NÚMERO DE POLÍGONOS E ÁREA CORRESPONDENTE DISTRIBUÍDOS POR CLASSES DE TAMANHO PARA A ÁREA 3.	35
TABELA 11. CLASSES DE COBERTURA E USO DO SOLO EM CADA ÁREA DE ESTUDO.....	39
TABELA 12. ERROS DE COMISSÃO E OMISSÃO DE CADA MÉTODO DISTRIBUÍDO DE ACORDO COM AS CLASSES DE USO DO SOLO PARA ÁREA 1.	41
TABELA 13. ERROS DE COMISSÃO E OMISSÃO DE CADA MÉTODO DISTRIBUÍDO DE ACORDO COM AS CLASSES DE USO DO SOLO PARA ÁREA 2.	41
TABELA 14. ERROS DE COMISSÃO E OMISSÃO DE CADA MÉTODO DISTRIBUÍDO DE ACORDO COM AS CLASSES DE USO DO SOLO PARA ÁREA 3.	42

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
FIGURA 2. FLUXOGRAMA DAS METODOLOGIAS SEMIAUTOMÁTICAS AVALIADAS.....	22
FIGURA 3. MAPA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ÁREAS QUEIMADAS EM CADA ÁREA DE ESTUDO OBTIDAS PELA METODOLOGIA REFERÊNCIA.	32
FIGURA 4. REFLECTÂNCIA DOS POLÍGONOS DE ÁREA QUEIMADA PARA ANTES E DEPOIS DO FOGO NOS CANAIS ESPECTRAIS DO VERMELHO, INFRAVERMELHO PRÓXIMO E INFRAVERMELHO DE ONDAS CURTAS, PARA AS TRÊS ÁREAS ESTUDADAS: A) REFLECTÂNCIA DOS POLÍGONOS DE ÁREA QUEIMADA NA REGIÃO DO VERMELHO (BANDA 4) PARA CADA ÁREA DE ESTUDO; B) REFLECTÂNCIA DOS POLÍGONOS DE QUEIMADAS NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (BANDA 5) PARA CADA ÁREA DE ESTUDO E C) REFLECTÂNCIA DOS POLÍGONOS DE QUEIMADAS NO INFRAVERMELHO DE ONDAS CURTA (BANDA 7) PARA CADA ÁREA DE ESTUDO.....	37
FIGURA 5. ÁREA QUEIMADA POR CLASSE DE COBERTURA E USO DO SOLO: A) ÁREA QUEIMADA REFERÊNCIA DISTRIBUÍDA POR CLASSE DE COBERTURA E USO DO SOLO PARA ÁREA 1; B) ÁREA QUEIMADA DISTRIBUÍDA POR CLASSE DE COBERTURA E USO DO SOLO PARA ÁREA 2; C) ÁREA QUEIMADA DISTRIBUÍDA POR CLASSE DE COBERTURA E USO DO SOLO PARA ÁREA 3.....	39

1 INTRODUÇÃO

Os satélites captam informações da superfície da terra através dos sensores sendo disponibilizados os dados na forma de imagens orbitais, representando assim uma ferramenta de elevado interesse pela possibilidade de obtenção de informações em áreas extensas e de difícil acesso (ROY et al., 2006). Nesse sentido, a utilização do sensoriamento remoto tem sido bastante útil e eficaz na estimativa de áreas atingidas pelo fogo (DUBININ et al., 2010), bem como na avaliação e monitoramento dos incêndios florestais em diversas escalas (CHU e GUO, 2014), possibilitando o avanço de estudos sobre a dinâmica dos incêndios florestais por meio do monitoramento de mudanças na superfície da terra (KENNEDY, 2007).

A identificação das áreas queimadas a partir do sensoriamento remoto baseia-se na análise do comportamento espectral das mesmas, em que após a passagem do fogo é possível observar alterações que vão influenciar na sua resposta espectral (CHUVIECO e CONGALTON, 1988). As principais alterações estão relacionadas a deposição de cinzas e carvão, rebrota, redução ou remoção da vegetação (BOSCHETTI et al., 2010), sendo que cada um desses fatores apresenta um valor de reflectância na faixa do espectro eletromagnético.

Rivera-Lombardi (2005) ressalta que a extração das informações do sensoriamento remoto pode ser realizada através de métodos de análise que podem ser separados em dois grupos: análise digital e análise visual de imagens. A primeira proporciona maior rapidez na obtenção dos dados, enquanto que a segunda exige experiência do intérprete, sendo possível obter resultados satisfatórios (CHUVIECO, 1996), com muitos progressos observados desde o início do estudo de detecção de áreas queimadas por meio de satélites (RICHARDS e MILNE, 1983).

No entanto, ainda existem várias limitações e lacunas a serem preenchidas, além da falta de dados que descrevam detalhadamente a ocorrência do incêndio em uma área de interesse (PLENIUO e KOUTSIAS, 2013). Portanto, o mapeamento de área queimada continua sendo um tópico ativo em pesquisas que envolvem o sensoriamento remoto (STROPPIANA et al., 2012).

Vários métodos têm sido propostos para mapear áreas queimadas de forma eficiente e automática, seja de uma série temporal ou de uma única imagem (STROPPIANA et al., 2012). A classificação supervisionada de imagens é bastante

eficiente na extração de informações de imagens de satélite, onde são utilizados algoritmos para reconhecer as classes dentro de um conjunto de dados que consideram as características espectrais do *pixel* e agrupa-os de acordo com os valores presentes em cada um (GAROFALO et al., 2015).

Um ponto importante neste processo é o uso de índices espectrais, que são de fácil obtenção e proporcionam redução no tempo de processamento eliminando a subjetividade na discriminação das áreas afetadas pelo fogo (VERAVERBEKE et al., 2011). Os estudos de mapeamento de fogo utilizando índices espectrais mostram que o *Normalized Burned Ratio* (NBR), que tenta maximizar a mudança de reflectância devido ao incêndio (LOZANO et al., 2007), destaca-se no objetivo esperado, embora o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) seja de maior precisão geral na delimitação de áreas queimadas versus não queimadas (NORTON et al., 2009).

Cabe destacar que estes índices são sensíveis às mudanças ocorridas nas diferentes fisionomias, pois resultam de expressões matemáticas que utilizam valores de reflectância (PEREIRA et al., 2015). Por exemplo, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é sensível à clorofila da vegetação ou à ausência dela no caso das áreas queimadas, sendo amplamente usado por ser obtido de forma simples (STROPPIANA et al., 2012). No que se refere ao procedimento de diferença de imagens bi temporais (pré e pós-fogo), o mesmo é amplamente utilizado, inclusive para os índices espectrais, e se baseia na escolha de imagens de pré-fogo que melhor enfatizam as feições de áreas queimadas (CARVALHO, 2015).

No Cerrado, o fogo pode ocorrer de forma natural, pois faz parte da ecologia deste bioma (COUTINHO, 2006), porém o aumento da frequência e a recorrência do fogo nessa região modifica as florestas e causa perturbações na ecologia dos ecossistemas (FRIZZO, 2011). Além disso, as práticas antrópicas devido ao manejo intensivo do solo em região de Cerrado, a qual possui uma estação seca bem definida, resulta no aumento da susceptibilidade dessas áreas a ocorrência do fogo (PIVELLO, 2011).

Diante disso, este trabalho tem por objetivo: avaliar o desempenho de índices espectrais na identificação de cicatrizes de áreas queimadas através de análise temporal e classificação supervisionada de imagens do satélite OLI/Landsat-8 em três locais (oeste, centro e leste) no Cerrado Tocantinense; analisar o comportamento espectral destas áreas e; associar as áreas queimadas com os dados de classe de cobertura e uso do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fogo no Cerrado

O fogo faz parte da ecologia do Cerrado, assim como é comum em ecossistemas savânicos, seja de forma natural ou antrópica, e ocorre há milhares de anos. Há registros da presença do homem no Brasil central à cerca de 11.000 a 12.000 anos atrás, segundo o estudo realizado por Cooke (1998). No entanto, em trabalho de análise palinológica feito por Vicentini (1993), foi constatado registros de fogo há 32.400 anos atrás em Cromínea, Goiás.

Estudos antropológicos apontam que o fogo era utilizado por comunidades indígenas para estimular a frutificação de espécies arbóreas, caça e controle de plantas daninhas, sendo que parte do conhecimento sobre o fogo foi repassada para agricultores e pecuaristas (MISTRY et al., 2005; HECHT, 2009). Ao passar dos anos, com a ocupação do homem no Cerrado, o fogo começou a fazer parte de suas atividades bem como das técnicas de manejo empregadas (PEREIRA, 2017).

Foi iniciado então um aprimoramento das técnicas já utilizadas para aumentar os benefícios do fogo, utilizando-o de forma mais intensa, resultando então em frequentes casos de ocorrência destes eventos, causando a degradação do ambiente através do esgotamento das terras, erosão, remoção da vegetação, extermínio de espécies nativas e invasão de espécies ruderais (COUTINHO, 1982; RAMOS-NETO e PIVELLO, 2000). Nesse sentido, com a expansão das fronteiras agrícolas, o ciclo natural das queimadas no Cerrado foi modificado, com o recorrente uso do fogo na agricultura (MISTRY et al., 2005; NASCIMENTO, 2001).

No entanto, o fogo contribui para a manutenção do ciclo de algumas espécies vegetais do Cerrado que são adaptadas e dependentes do mesmo para brotar, florescer e se desenvolver (FRANÇA, 2001; COUTINHO, 1977), sendo que o fogo também influencia na dinâmica de nutrientes para as plantas (FIDELIS e PIVELLO, 2011). Mesmo assim, com a maior frequência das queimadas a vegetação do Cerrado tende a tornar-se mais aberta e com predominância de gramíneas (PIVELLO e COUTINHO, 1992; KEELEY e RUNDEL, 2005) pela alta mortalidade da camada lenhosa, alta taxa de destruição de meristemas, diminuição do número de plântulas estabelecidas, e desenvolvimento da vegetação herbácea (FELFILI et al., 2005; MIRANDA et al., 2009).

O aumento na frequência das queimadas também modifica o ciclo dos nutrientes, fluxo das águas, fluxo do carbono, dentre outros, diminuindo a qualidade de vida das populações, o equilíbrio ecológico e a sustentabilidade das atividades econômicas e sociais da região (FELFILI et al., 2005; MIRANDA et al., 2009).

Com relação ao período em que são registrados os maiores números de focos ativos nesse bioma, o mesmo inicia em maio (final do período chuvoso) e se intensifica entre os meses de agosto e setembro (final da estação seca), período que coincide com os menores valores de umidade relativa do ar (< 20%) (FRANÇA, 2001; RIVERA-LOMBARDI, 2003; EITEN, 1994).

2.2 Sensoriamento remoto no monitoramento de áreas queimadas

Os dados obtidos através do sensoriamento remoto possibilitam analisar e monitorar sistematicamente mudanças ambientais ao longo do tempo, permitindo então, acompanhar a evolução de determinados fenômenos (SILVA, 2015). Com o auxílio do sensoriamento remoto, foram desenvolvidas várias linhas de pesquisas, tal como o monitoramento de uso da terra e cobertura vegetal natural para os mais variados ecossistemas do mundo, sendo que somente a partir da década de 70 foi utilizado pela sociedade civil, com o advento das imagens de satélites (JENSEN, 2009).

Em virtude das restrições tecnológicas, os estudos sobre mapeamento de área queimada eram feitos na sua maioria em escala regional. Nesse sentido, não se tinham dados sobre estimativa de áreas queimadas para todo o território brasileiro, pois essas se detinham a dados coletados nas Unidades de Conservação e pelas empresas florestais, por meio de formulários (SOARES et al., 2006; SOARES e SANTOS, 1997).

Ao se falar em monitoramento de incêndios florestais por meio de técnicas de sensoriamento remoto, pode-se distinguir duas vertentes: uma relacionada a detecção de focos ativos de incêndios, e outra destinada à identificação das áreas atingidas pelos incêndios, com detalhes de extensão (SETZER et al., 2007; FRASER et al., 2000).

Os focos ativos são detectados a partir da radiação emitida pelas altas temperaturas dos incêndios florestais, portanto, essa identificação só é realizada quando o momento de passagem do sensor coincide com o momento de ocorrência de incêndios (MARTÍN e CHUVIECO, 1995), contribuindo então para o aumento dos

erros de omissão das áreas queimadas (LENTILE et al., 2006). Apesar de não possibilitar, pelo menos de forma direta, a quantificação da área queimada, (GIGLIO et al., 2009; ROY et al., 2005), é possível obter uma informação rápida e precisa a respeito do local de ocorrência de um incêndio (PEREIRA, 2003).

Na identificação de áreas atingidas pelo fogo, a detecção é feita a partir das alterações provocadas pelo fogo, tais como a deposição de cinzas e carvão provenientes da queima da vegetação. O tempo de permanência dessas alterações é superior ao do sinal de um foco ativo (FRASER et al., 2000; BASTARRIKA et al., 2011), sendo assim, um incêndio que não foi identificado por focos ativos tem maior chance de ser identificado sob a forma de área queimada, possibilitando também uma análise mais detalhada. Conhecendo a extensão de uma área afetada por incêndio florestal, torna-se possível a estimativa da quantidade de biomassa queimada, analisar as alterações causadas pelo fogo, possibilitando então realizar análises mais robustas, tais como aquelas destinadas a estimar o grau de severidade dos incêndios (ESCUIN et al., 2008; MILLER e THODE, 2007; PEREIRA, 2003).

As áreas com maior quantidade de biomassa queimada absorvem mais a radiação dos comprimentos de onda do infravermelho próximo (NIR). Nessa banda, os níveis de cinza mais baixos se referem à queimada recente, enquanto nos comprimentos de onda maiores é possível observar a diferença espectral entre queimadas recentes e antigas (aproximadamente 15 a 20 dias) (PEREIRA e SELTZER, 1993; RIVEIRA-LOMBARDI, 2003).

Mesmo com os diversos estudos utilizando o sensoriamento remoto para mapeamento de áreas queimadas, ainda é considerado um desafio a automação completa desse procedimento, sem a necessidade da intervenção de um usuário (BOSCHETTI et al., 2015). Isso se deve principalmente a fatores como a grande diversidade dos ecossistemas e seus diferentes comportamentos em relação ao fogo, diferentes usos do solo, semelhança espectral das queimadas com diferentes alvos (sombra, corpos d'água, rochas), tempo de permanência das cicatrizes de queimadas e persistência de nuvens nas imagens (PEREIRA, 2003).

2.3 Propriedades espectrais das áreas queimadas

As alterações ocorridas após a ação do fogo são o ponto de partida para os estudos a respeito das áreas queimadas, possibilitando a caracterização espectral dessas áreas (CHUVIECO e CONGALTON, 1988). Essas alterações incluem a

retirada ou diminuição da vegetação, alterações na estrutura do solo, deposição de cinzas e carvão e regeneração da vegetação (ROY et al., 2002; PEREIRA et al., 1997; EPTING et al., 2005; BOSCHETTI et al., 2010).

O comportamento espectral do carvão apresenta baixos valores de reflectância em toda a faixa do espectro eletromagnético, mostrando valores mais baixos na região do visível e um pequeno aumento em direção ao infravermelho de ondas curtas (SILVA, 2015). Porém, como afirma Pessoa (2014), as áreas atingidas pelo fogo em imagens orbitais, nem sempre são compostas por pixels puros de carvão, sobretudo quando tais imagens apresentam baixa resolução espacial. É frequente notar que esses pixels incluem além do carvão, vegetação seca, exposição do substrato (solo ou rocha), parte de vegetação não queimada, dentre outros tipos de cobertura (EVA e LAMBIN, 1998; SMITH et al., 2010; VERAVERBEKE et al., 2012).

A identificação das cinzas e do carvão pode ser limitada, mesmo com sua observação em conjunto, pois em geral as cinzas apresentam uma distribuição espacial desigual e descontínua, enquanto que o carvão pode ser encontrado sob a forma de cobertura contínuas (ROY et al., 2010), o que favorece sua identificação.

O aumento do tempo decorrido do início do incêndio até sua detecção influencia no comportamento espectral de áreas (PESSOA, 2014). É esperado que uma área atingida recentemente pelo fogo apresente acúmulo de cinzas e carvão originados da queima da vegetação, porém, este material tende a ser removido pelo vento ou pela chuva com o decorrer do tempo (TRIGG e FLASSE, 2000; GIGLIO et al., 2009), isto aumenta a exposição do solo e, contribui para que o comportamento espectral da área queimada se diferencie cada vez mais do comportamento típico do carvão.

Além disso, o aumento da mistura de alvos para a alteração do comportamento espectral das áreas afetadas é influenciado também pelo início do processo de rebrota (CORONA et al., 2008; BOSCHETTI et al., 2010), podendo comprometer ainda mais as análises que dependem do reconhecimento dos sinais da presença do carvão.

2.4 Índices espectrais

Os índices espectrais resultam de formulações algébricas entre bandas espectrais, informações captadas pelos sensores na faixa do espectro eletromagnético, possibilitando destacar determinados alvos para análise. A partir das

operações realizadas é possível diminuir a variabilidade ocasionada por fatores externos, por exemplo, sombras ou espalhamento atmosférico, e assim maximizar a resposta dos alvos pretendidos (SAMPAIO, 2007). Estes são baseados na interpretação da resposta espectral dos alvos que interagem com a radiação solar incidente (VERSTRAETE e PINTY, 1996), mostrando-se muito úteis para a análise de dados de sensoriamento remoto. Ainda, mostram maior sensibilidade no mapeamento de diferentes alvos que bandas espectrais individuais (BANNARI et al., 1995).

Uma diversidade de índices espectrais tem sido proposta e utilizada na identificação de áreas queimadas nos diversos ecossistemas. Os índices de vegetação baseados na absorção da clorofila têm sido amplamente utilizados, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI); *Global Environmental Monitoring Index* (GEMI) (PINTY e VERSTRAETE, 1992); *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) (HUETE, 1988), *Modified Soil Adjusted Vegetation Index* (MSAVI) (QI et al., 1994); *Enhanced Vegetation Index* (EVI) (HUETE et al., 2002).

Além dos índices de vegetação, foram propostos também índices específicos para a detecção de áreas queimadas, tais como: *Burned Area Index* (BAI) (MARTÍN e CHUVIECO, 1995), *Normalized Burned Ratio* (NBR) (KEY e BENSON, 1999), *Char Soil Index* (CSI) (SMITH et al., 2007), e *Mid Infrared Burn Index* (MIRBI) (TRIGG e FLASSE, 2001). Dentre os índices descritos, o NBR e a sua diferença pré e pós-fogo (dNBR) são os mais utilizados. No entanto, algumas proposições foram feitas visando ajustar algumas deficiências do índice dNBR, tais como: *relative dNBR* (RdNBR) (MILLER et al., 2007) e *Relativized Burn Ratio* (RBR) (PARKS et al., 2014).

A diferença de imagens bi temporais (pré e pós-fogo) é utilizada de forma ampla, estendendo-se para todos os índices citados. Geralmente, as análises baseadas em dados discretos no tempo (duas imagens) permitem uma escolha das imagens de pré-fogo que melhor enfatizem as feições de áreas queimadas (PEREIRA, 2015).

O espaço espectral do infravermelho de ondas curtas-infravermelho próximo (SWIR-NIR) é considerado por diversos autores com uma alta capacidade de discriminar áreas queimadas (BASTARRIKA, 2009; MELCHIORI et al., 2015; PEREIRA et al., 2015). Os valores de reflectância na banda SWIR aumentam após um incêndio devido essa ser responsável pela absorção da água presente na vegetação, e que pode ser diferente em função das características da vegetação (KOUTSIAS, 2010).

2.5 Segmentação de imagem

Os processos de segmentação baseiam-se nas propriedades espectrais e espaciais da imagem, com o objetivo de simular o comportamento do fotointérprete no reconhecimento de áreas homogêneas (SPRING, 1998). O processo consiste em agrupar pixels com características similares em termos tonais e texturais, formando regiões homogêneas.

Este processo, em geral, é a primeira etapa na análise de imagens, onde é feita a subdivisão da imagem em suas partes ou objetos constituintes (GONZALES e WOODS, 2000), preparando-a para a classificação.

Os processos de segmentação e extração de regiões são propostos para a fase anterior à classificação. Esta metodologia supera as limitações da análise pontual baseada unicamente em atributos espectrais apresentada na classificação estatística convencional, utilizada em análises de imagens digitais (DLUGOSZ, 2005).

Neste processo são extraídos os objetos relevantes, com base na técnica de crescimento de regiões, através da segmentação das imagens em regiões homogêneas de atributos comuns, como média do nível de cinza, forma e textura (CORR et al., 1989). Entende-se por regiões, um conjunto de *pixels* contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uma uniformidade (DLUGOSZ, 2005).

Para realizar a segmentação são definidos dois limiares: (a) limiar de similaridade – distância euclidiana entre a média do número digital de duas regiões, abaixo do qual estas são agrupadas; e (b) limiar de área – área mínima a ser considerada como uma região, baseado no número de *pixels*.

As etapas de segmentação e extração de regiões de uma imagem podem ser sumarizadas da seguinte forma: (a) segmentação da imagem em regiões, que podem ser apenas um *pixel* ou um agrupamento de *pixels*; (b) comparação de cada segmento com seus vizinhos, e reunindo os grupos que são estatisticamente mais similares em relação as médias dos valores de níveis de cinza; (c) crescimento destes grupos de segmentos em relação aos novos vizinhos, até que nenhum segmento a mais seja agrupado, de modo que se forma uma região que será então rotulada; (d) análise dos outros segmentos ainda não rotulados, repetindo a sequência inteira até que todas as regiões tenham se formado (NASCIMENTO e ALMEIDA FILHO, 1996).

2.6 Classificação digital

A identificação de diferentes alvos a partir do sensoriamento remoto é possível devido aos distintos comportamentos ao longo do espectro eletromagnético (CROSTA, 1992). Categorizar de forma automática todos os *pixels* de uma imagem em classes ou temas distintos é o principal objetivo dos procedimentos de classificação de imagens (LILLISAND e KIRFER, 1994).

O reconhecimento dos objetos em uma imagem é feito a partir da quantificação dos níveis de cinza (NOVO, 1992), realizado por meio de um processo de decisão no qual um grupo de *pixels* é definido como pertencente a determinada classe (VENTURIERI e SANTOS, 1998) em função da semelhança das características espectrais e que segundo Centeno (2003) torna a interpretação da imagem mais simples.

A divisão dos métodos de classificação se refere ao nível de interação do analista no processo de reconhecimento da assinatura espectral das classes, definido como treinamento, o processo pode ser definido como supervisionado ou não-supervisionado (PESSOA, 2014).

2.6.1 Classificação supervisionada

Nesse tipo de classificação a busca de classes pelo classificador é feita a partir amostras de treinamento feitas anteriormente em classes de interesse na imagem (DLUGOSZ, 2005). O sucesso na classificação usando amostras de treinamento está ligado a obtenção de forma homogênea e representativa das classes de interesse (NOVO, 1992).

O agrupamento de *pixels* desconhecidos pode ser comparado com observações de campo feitas na mesma época da passagem do satélite (CRÓSTA, 1992). Além disso, Mather (1999) cita as fotografias aéreas, e mapas como possíveis fontes de auxílio na definição das amostras de treinamento.

Venturieri e Santos (1998) comentam que em relação ao número de amostras, não é possível definir um número ideal para representar as classes de interesse, porém, estas devem refletir a variabilidade de cada categoria dentro da área de estudo. Esses autores indicam um valor mínimo de $3N$, onde o N é o número de bandas que compõe a imagem amostras no caso de classificações supervisionadas de temas agrícolas e florestais em regiões tropicais.

Para Campbell (1996), selecionar um maior número de amostras pequenas ao invés de poucas amostras grandes dá maior representatividade as classes. Em relação a distribuição sobre a imagem, não se deve formar agrupamentos em um local para não proporcionar condições que não são representativas, que tendem a subestimar a variabilidade dentro de cada classe e a superestimar o grau de distinção entre categorias (DLUGOSZ, 2005). Para uma melhor classificação, é importante verificar que as amostras não devem incluir *pixels* de borda e se essas estão distribuídas de forma homogênea.

Os classificadores podem ser divididos em: *pixel a pixel* e classificadores por regiões, com os classificadores *pixel a pixel* utilizando de forma isolada apenas a informação espectral de cada *pixel* para achar regiões homogêneas (SPRING, 1998). Os procedimentos de classificação por regiões (LILLESSND e KIEFER, 1994) ou classificadores por regiões são processos que utilizam além de informação espectral de cada *pixel*, a informação espacial que envolve a relação entre *pixels* e seus vizinhos. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar as regiões e as propriedades espaciais e espectrais que irão unir áreas com mesma textura (SPRING, 1998).

Os algoritmos de classificação supervisionada mais conhecidos são: “Máxima Verossimilhança”, “Paralelepípedo” e “Distância Mínima”. O algoritmo classificador Máxima Verossimilhança, que trabalha com regiões, utiliza como amostras de treinamento regiões geradas no processo de segmentação e selecionadas pelo analista (MOREIRA, 2001).

2.6.2 Classificação não-supervisionada

A classificação não supervisionada não requer a definição prévia de categorias pertencentes a imagem, sendo definida também como *clustering* (MATHER, 1999). Nesse processo, o algoritmo classificador faz o reconhecimento das classes presentes na imagem, sendo que cada grupo representa a distribuição de probabilidade de uma classe (SPRING, 1998).

Os *pixels* com valores semelhantes determinam a união dos dados, levando em consideração sua distribuição (NOVO, 1992). Em uma etapa seguinte os termos para identificação dos grupos são inseridos em que este limiar estabelece quais as concentrações de *pixels* devem ser tratadas como grupos distintos (RICHARDS, 1986).

Os algoritmos *clustering* ou de agrupamento mais comuns são o “K-médias” e o “Isodata” para classificações por *pixel*, e o “Isoseg” para classificação por regiões com este último sendo um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionado, aplicado sobre o conjunto de regiões definidas pela técnica de segmentação. Segundo Moreira (2001), este é o algoritmo de classificação por regiões mais utilizado no mapeamento de áreas com vegetação.

2.7 Acuracidade da classificação

De acordo com CAMPBELL (1996), qualquer tipo de classificação apresenta erros que quando decorrentes de processamento automatizado, os erros são resultantes de interações complexas entre as estruturas espaciais da própria classificação. Cabe destacar que a mais simples das causas de erro está relacionada ao errôneo assinalamento de categorias informacionais às categorias espectrais.

Após a classificação de uma imagem, deseja-se conhecer a confiabilidade (qualidade) do mapa temático produzido. Uma avaliação pode ser feita através de simples comparação visual com uma referência, ou de forma mais rigorosa, avaliando amostras de determinadas regiões na imagem. Nesse sentido, conforme Jesen (1996), as unidades amostrais de uma classe específica podem ser *pixels*, grupos de *pixels* ou polígonos.

O meio mais comum de expressar a acurácia de uma classificação temática consiste na elaboração de uma matriz de erros ou também conhecida como matriz de confusão e, ainda tabela de contingência. Esta matriz compara, classe a classe, o relacionamento entre os dados de referência conhecidos (“verdade de campo”) e os correspondentes resultados de uma classificação automática, expressando, desta forma, a maioria das características sobre a performance da classificação (LILLESAND e KIEFER, 1994).

Segundo Jensen (1996), é a maneira mais efetiva de expressar a acuracidade, mostrando para cada classe os erros de inclusão e omissão. A matriz de erros é uma matriz quadrada, de dimensão $c \times c$, onde c é o número de classes. Nas colunas está representado o número de pontos, segundo a verdade de campo, amostrado para cada classe. Nas linhas está o número de pontos encontrado para cada classe segundo a classificação automática. Dessa forma, a diagonal principal da matriz conterá o número de *pixels* classificados corretamente para cada categoria (ROSOT, 2001).

Através da matriz de erros é possível também utilizar a técnica de análise multivariada para determinar a concordância do mapeamento com a verdade de campo. Neste sentido, o coeficiente *kappa* (K), vem sendo o mais usado para determinar a acurácia da classificação (MOREIRA, 2001).

Tal coeficiente compara o relacionamento entre dados de referência (“verdades de campo”) e os dados alcançados pela classificação (OLIVEIRA, 1999). De acordo com Moreira (2001), esse método apresenta vantagem por incluir todos os elementos da matriz de erros e não somente os da diagonal principal, como no caso da exatidão global.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo é composta por três locais distintos dentro do Cerrado Tocantinense, à oeste se localiza a área 1, a qual pertence a órbita/ponto 223/67; ao centro a área 2 na órbita/ponto 222/68 e; ao leste a área 3, na órbita/ponto 221/68 (Figura 1). Estes locais foram escolhidos para gerar uma comparação em relação a ocorrência do fogo e desempenho dos métodos testados, baseando-se nas diferentes características da vegetação presente em cada local.

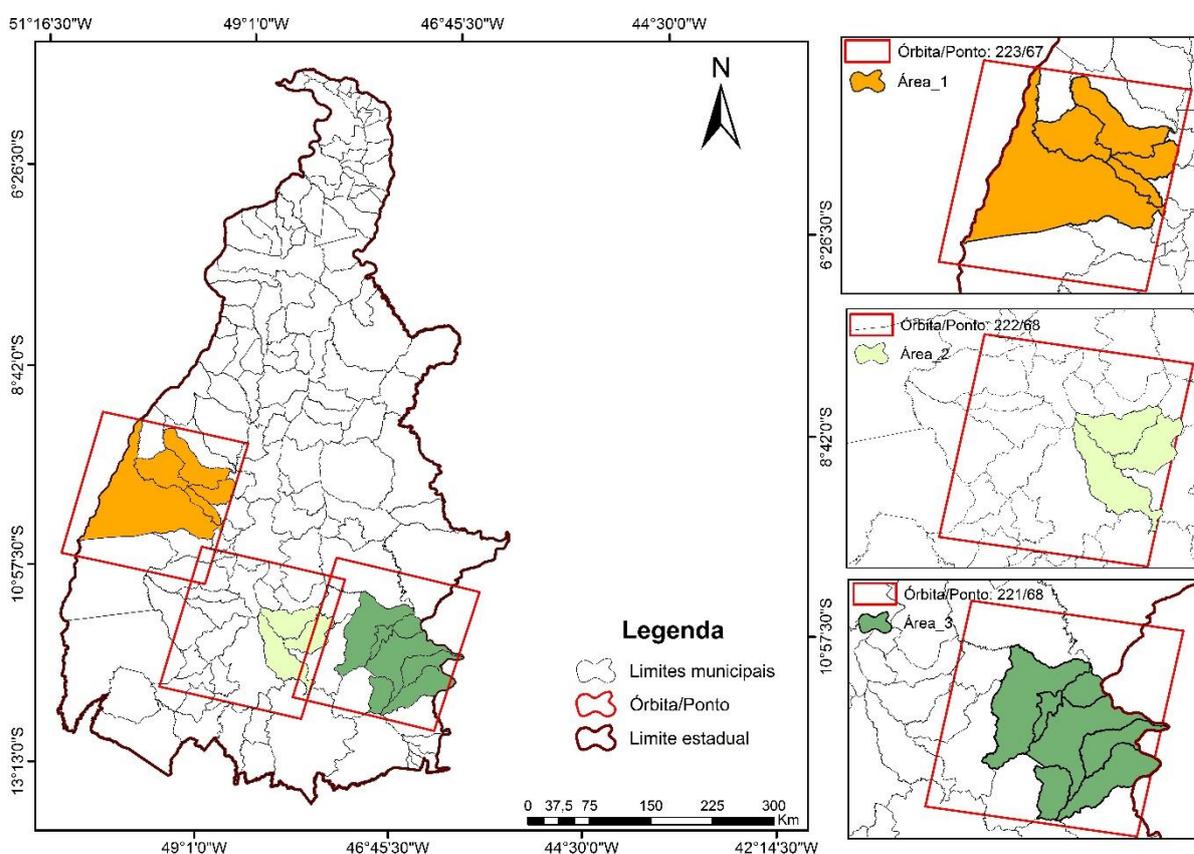


Figura 1. Localização da área de estudo

A área 1 está entre as coordenadas $10^{\circ} 44' 0'' - 9^{\circ} 01' 30''$ S; $50^{\circ} 10' 00'' - 48^{\circ} 07' 00''$ W, e nela estão inseridos os municípios de Chapada da Areia, Marianópolis, Monte Santo e Pium, com extensão total de 1.554.453 ha. A temperatura média anual é de 26°C e a precipitação média anual é de 2.000 mm, com o clima da região segundo a classificação de Thornthwaite caracterizado como clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno (C2wA'a''). Os plintossolos são predominantes nessa área e quanto à vegetação, esta é formada em sua maioria por

formações savânicas, cerrado sentido restrito, contendo também formações florestais (mata de galeria, floresta estacional semidecidual). Por fim, a área também possui uma grande diversidade biológica e é de grande importância para a conservação pois abrange parte da Área de proteção ambiental Ilha do Bananal, parte do Parque Nacional do Araguaia (PNA) e o Parque Estadual do Cantão (PEC).

A área 2, está situada entre as coordenadas 12° 03' 20" – 11° 02' 00" S; 48° 48' 00" – 47° 26' 00" W, abrangendo os municípios de Chapada da Natividade, Santa Rosa e São Valério da Natividade os quais somam uma área de 546.923,67 ha. A temperatura média anual do ar é de 25 °C, com precipitação média de 1.500 mm, clima conforme a classificação de Thornthwaite é classificado como clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno (C2wA´a´´). Os solos são constituídos de latossolos e plitossolos, predominando a vegetação de Formações savânicas, pastagem natural e plantada.

A área 3 está localizada entre as coordenadas 10° 52' 50" – 12° 23' 50" S e 47° 37' 20" – 46° 05' 20" W, possui uma extensão de 1.267.913,78 ha, abrangendo os municípios de Almas, Dianópolis, Novo Jardim, Ponte Alta do Bom Jesus, Porto Alegre do Tocantins, Rio da Conceição e Taipas do Tocantins. Nesta local se encontra cerca de 11 % da área da unidade de conservação Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (ESCEC) e 35 % da Área de Proteção Ambiental (APA) Serra da Mombuca, além de abranger a área prioritária para implantação de unidade de conservação do Vale do Rio Palmeiras. A precipitação média anual é de 1.600 mm, a temperatura média do ar é de 26°C e o clima é caracterizado como C2w2A´a`. Os solos predominantes são: neossolos, argissolos, plintossolos e a vegetação encontrada é formada quase na sua totalidade por formações savânicas que incluem: campo rupestre, vereda, parque de cerrado e cerradão (SEPLAN, 2012).

3.2 Aquisição e pré-processamento de imagens

Para a execução do trabalho foram utilizadas duas imagens para cada área, provenientes do sensor *Operational Land Imager (OLI)* a bordo do satélite Landsat-8, com 30 metros de resolução espacial, adquiridas pela base de dados da USGS (*United State Geological Survey*). As imagens referem-se a três locais distintos, designados por órbita/ponto e descritos anteriormente: 223/67 com imagens nas datas dos dias 17/06/2016 (pré-fogo) e 21/09/2016 (pós-fogo); 222/68, nos dias 11/08/2015

(pré-fogo) e 14/10/2015 (pós-fogo) e; 221/68 nas datas 19/06/2016 (pré-fogo) e 07/09/2016 (pós-fogo).

Inicialmente foi feita a calibração radiométrica, onde foi feita a conversão dos valores dos *pixels* da imagem em valores de radiância, com base nos parâmetros encontrados em arquivo de metadados. Sequencialmente, foi realizada a correção atmosférica utilizando o algoritmo *FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercube)*, que utiliza o código de transferência radiativa *MODTRAN*, conforme descrito na metodologia utilizada por Xaud e Epiphonio (2014). Essa correção foi feita para minimizar os efeitos da atmosfera na imagem e colocar os dados numa mesma escala, visto que estes efeitos afetam a radiância refletida (SANCHES et al., 2011, SONG et al., 2001).

3.3 Processamento de imagens

3.3.1 Metodologia de referência

Para a obtenção de dados a partir desse método, utilizou-se a interpretação visual de cicatrizes de queimadas. Esta interpretação é uma técnica tradicionalmente utilizada na detecção de áreas queimadas, que embora se mostre um processo demorado, é considerado relativamente simples e permite obter resultados confiáveis (BASTARRIKA et al., 2011). Geralmente, os dados obtidos são utilizados para validar e avaliar a precisão dos algoritmos de área queimada, conforme observado nos trabalhos de Bastarrika et al. (2014), Fraser et al. (2000) e Melchiori et al. (2014).

Para delimitar as cicatrizes presentes na imagem pós-fogo de cada área de estudo, foi utilizada a composição colorida: RGB, formada pelas bandas 7 (infravermelho de ondas curtas), 5 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho), respectivamente, com a qual foi possível distinguir as cicatrizes de queimadas de alvos parecidos e realizar o mapeamento de todas essas cicatrizes contidas na imagem. A escala utilizada para realizar a delimitação manual das cicatrizes foi de 1:50.000, correspondendo a uma área mínima de mapeamento igual a 0,02 km², conforme descrito em trabalho realizado por Rivera-Lombardi (2005). A partir das delimitações foi criado um arquivo vetorial contendo todas as informações de área queimada referente a imagem pós-fogo.

3.3.2 Metodologia semiautomática

O processamento das imagens para obtenção da área queimada foi realizado por meio da metodologia semiautomática, a qual foi dividida em três fases, detalhadas nos próximos subitens como pode ser observada na figura 2.

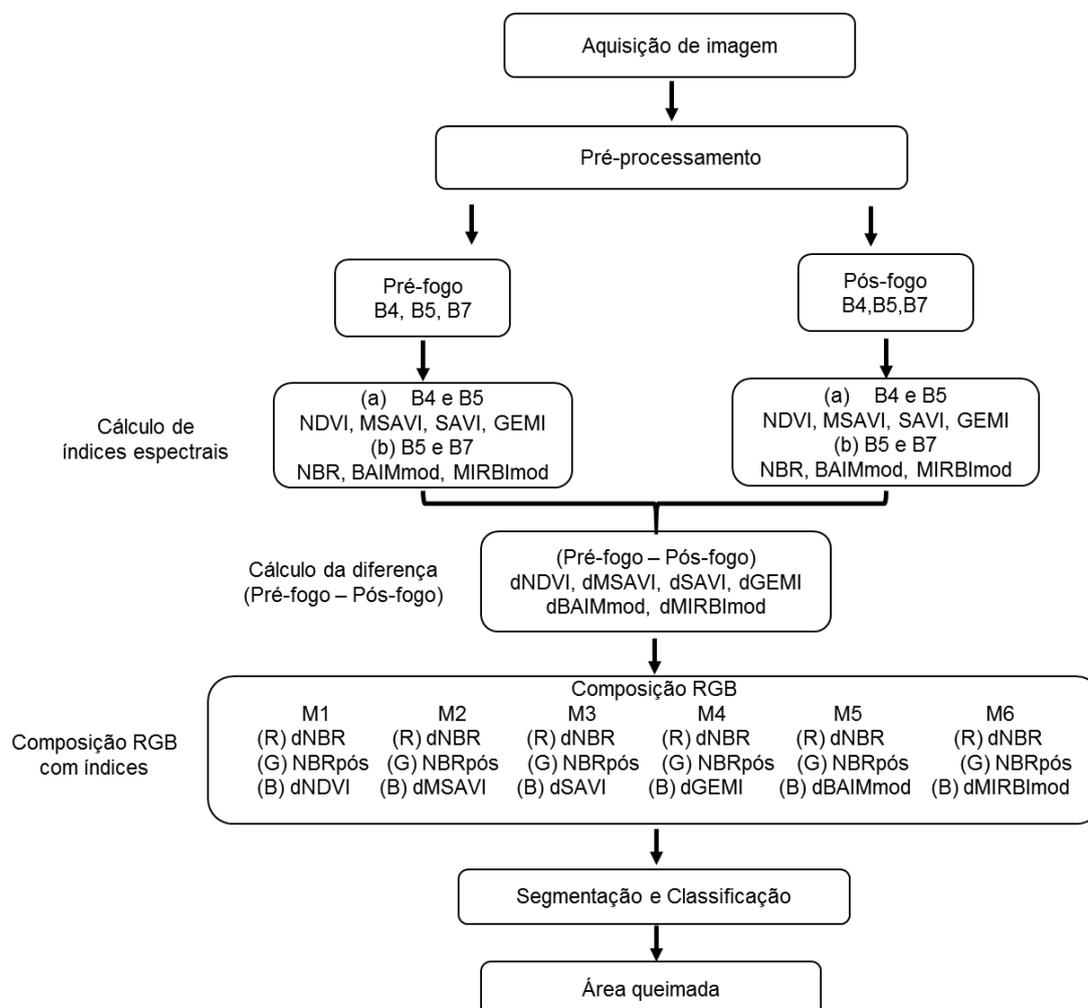


Figura 2. Fluxograma das metodologias semiautomáticas avaliadas

1.1.1.1 Cálculo de índices espectrais

A primeira fase consistiu no cálculo de índices espectrais mais utilizados na literatura para a discriminação de áreas queimadas, os quais foram divididos em dois grupos de acordo com a combinação de bandas utilizadas e calculados de acordo com sua equação. Na tabela 1 estão apresentados os índices que foram utilizados e suas respectivas equações e referências, sendo que os índices $BAIM_{mod}$ e $MIRBI_{mod}$ foram modificados para a utilização nesse trabalho, alterando as equações originais dos índices $BAIM$ e $MIRBI$, respectivamente.

Tabela 1. Índices espectrais utilizados, suas respectivas equações e referência

Índice	Equação	Referência	Nº
(a) R + NIR			
<i>NDVI</i>	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$	(ROUSE et al., 1973)	1
<i>MSAVI</i>	$\frac{2 * NIR + 1 - \sqrt{2(NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - R)}}{2}$	(QI et al., 1994)	2
<i>SAVI</i>	$\frac{(1 + L) * (NIR - R)}{(NIR + R + L)}$	(HUETE, 1988)	3
<i>GEMI</i>	$n = \frac{\frac{n(1 - 0,25n) - (R - 0,125)}{(1 - R)} + 1,5NIR + 0,5R}{(R + NIR + 0,5)}$	(PINTY; VERSTRAETE, 1992)	4
(b) NIR + SWIR2			
<i>NBR</i>	$\frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}$	(KEY; BENSON, 1999)	5
<i>BAIM_{mod}</i>	$(NIR - cNIR)^2 + (SWIR2 - cSWIR2)^2$	(MARTÍN et al., 2006)	6
<i>MIRBI_{mod}</i>	$(10 * SWIR2) - (9,8 * NIR) + 2$	(TRIGG et al., 2001)	7

Nota: R= vermelho; NIR= infravermelho próximo; SWIR2= infravermelho de ondas curta; L=0,5; cNIR= 0,05 e cSWIR2= 0,2

Os sete índices foram calculados para as imagens pré-fogo e pós-fogo e a partir desses, foi obtida a imagem diferença para cada índice pela operação entre as duas imagens: dNDVI, dMSAVI, dSAVI, dGEMI, dNBR, dBAIM_{mod} e dMIRBI_{mod}, sendo possível analisar as mudanças ocorridas no período analisado.

1.1.1.2 Composição colorida de índices

Na segunda etapa, foi realizada a confecção de composições coloridas (RGB), feitas a partir das combinações entre os índices espectrais gerados. Essa composição teve por objetivo realçar às áreas atingidas pelo fogo e assim facilitar os processos seguintes de segmentação e classificação, já que a partir desse método as cicatrizes de áreas queimadas ocorridas num determinado período são destacadas de outras feições que podem ter características semelhantes às das áreas queimadas. Por se tratar de uma análise temporal, a composição colorida apresenta feições em função da variação ocorrida no período considerado. Sendo assim, os alvos mais constantes ao longo do tempo, como corpos d'água e áreas de solo exposto apresentam-se de forma distinta às cicatrizes de queimadas, já que estas resultam de variações bruscas na vegetação (CÂNDIDO, 2014).

Foram feitas seis composições a partir dos índices gerados, portanto seis métodos diferentes para obter a área queimada em cada área de estudo. A combinação da composição foi feita com base no trabalho realizado por Cândido (2014), que utilizou este tipo de composição (com índices) para realçar as áreas atingidas pelo fogo. Neste trabalho citado, a composição colorida foi realizada utilizando o índice NBRpós no canal R, dNBR no G e dNDVI no B, assim, com base nessa combinação de índices e em testes realizados com os índices gerados durante o processamento de imagens, padronizou-se a formação das composições, utilizando o dNBR no canal (R) e NBRpós (G). No canal (B), foi utilizada a imagem diferença entre pré e pós-fogo de cada índice.

Tabela 2. Identificação do método e sua respectiva composição

Método	Composição de índices RGB
M1	(R) dNBR (G) NBRpós (B) dNDVI
M2	(R) dNBR (G) NBRpós (B) dMSAVI
M3	(R) dNBR (G) NBRpós (B) dSAVI
M4	(R) dNBR (G) NBRpós (B) dGEMI
M5	(R) dNBR (G) NBRpós (B) dBAIM _{mod}
M6	(R) dNBR (G) NBRpós (B) dMIRBI _{mod}

1.1.1.3 Segmentação e classificação de imagem

Na terceira etapa realizou-se a segmentação da composição feita com os índices e posteriormente a classificação da imagem segmentada. Foi utilizado o algoritmo de segmentação *mean shift*, o qual realiza o agrupamento por regiões levando em consideração o valor médio dos pixels (CHENG, 1995), com o estabelecimento de limiares de entrada (18, 4, 10) para agrupamento e segmentação da imagem.

A imagem segmentada passou por uma fase de treinamento, onde foram feitas amostras das classes presentes na imagem e de interesse, sendo que nesse trabalho foram utilizadas três classes: (1) queimado, (2) não queimado e (3) vegetação. A classificação supervisionada foi realizada através da interação das classes amostradas com o algoritmo Máxima Verossimilhança (*Classification Maximum Likelihood*) que classificou a imagem em três classes distintas, conforme as classes de treinamento amostradas, sendo então possível extrair a classe de interesse, que foram as áreas queimadas a qual posteriormente foi convertida em arquivo vetorial de

polígono para extração das informações de interesse (área queimada). Por fim, foi realizada a intersecção dos polígonos obtidos pela segmentação com os polígonos gerados manualmente (metodologia de referência).

3.4 Análise de acurácia

Para estimar a acurácia dos métodos, foi calculado o índice *Kappa* que é utilizado para avaliar a proximidade entre a referência e os demais métodos testados (CARVALHO, 2015). Este foi obtido através de uma matriz de confusão gerada pela comparação dos dados de referência que foram determinados como “verdade de campo” em relação aos dados gerados pela classificação supervisionada. Essa matriz foi feita a partir da alocação de pontos de forma sistemática na área de estudo, que posteriormente foram classificados como coincidindo ou não com os polígonos atingidos pelo fogo que cada método detectou, sendo atribuído 0 para área não queimada e 1 para área queimada. Na tabela 2 observa-se os intervalos do índice *Kappa* que foram utilizados para comparar a qualidade dos métodos.

Tabela 3. Valores do índice *Kappa* para a classificação de qualidade segundo Landis e Koch (1977).

Valor	Qualidade de classificação
<0	Péssima
0 – 0,20	Ruim
0,21 – 0,40	Razoável
0,41 – 0,60	Boa
0,61 – 0,80	Muito boa
0,81 – 1,0	Excelente

3.5 Caracterização das áreas queimadas por classe de tamanho

Para caracterizar de forma quantitativa, as cicatrizes de queimadas obtidas pela metodologia referência e pela metodologia automática foram separadas por classe de tamanho, o que possibilita identificar possíveis padrões que possam explicar os resultados. Vários trabalhos abordam as classes de tamanho das áreas queimadas, como os realizados por Lima e Soares (2002), Medeiros e Fiedler (2003), porém essas classes são adequadas de acordo com a realidade de cada área de estudo. Neste trabalho, adotou-se um intervalo de classes considerando o tamanho nominal do *pixel* dos sensores, normalmente utilizados em trabalhos sobre

monitoramento orbital de queimadas (Pereira et al., 2012), sendo então definidas quatro classes de tamanho (Tabela 4).

Tabela 4. Classes de tamanho das queimadas.

Classes	Área (ha)
Classe I	< 25 ha
Classe II	25 a 100 ha
Classe III	100,01 a 1.600 ha
Classe IV	> 1.600 ha

3.6 Obtenção dos valores de reflectância

Para analisar o comportamento espectral das áreas queimadas foram extraídos os valores de média e desvio padrão da reflectância dos polígonos de área queimada em relação às bandas utilizadas na composição dos índices, banda 4 (vermelho), banda 5 (infravermelho próximo) e banda 7 (infravermelho de ondas curtas).

3.7 Área queimada por classe de cobertura do solo

Foi feita a intersecção das cicatrizes de áreas queimadas obtidas pela metodologia referência com os dados vetoriais de classe de cobertura e uso do solo, obtidos na base de dados da Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra do estado do Tocantins para o ano de 2015, sendo esses disponibilizados pela Secretaria do Planejamento do Tocantins (SEPLAN-TO). Foi realizada a atualização da base de dados do ano de 2007 para 2015, utilizando a interpretação visual em imagem do sensor OLI a bordo do satélite Landsat-8. Nesse processo de atualização, foram identificadas as mudanças presentes na cobertura e uso do solo em 2015 e então feita a modificação dos polígonos que continham as informações do ano de 2007.

Foram consideradas as seguintes classes para o melhor entendimento a respeito das classes atingidas pelo fogo: Áreas antrópicas agrícolas (AAA); Áreas antrópicas não agrícolas (ANA); Cerrado sentido restrito (Csr); Corpos d'água continental (CodC); Formações campestres (FC); Formações florestais de cerrado (FFC); Formações florestais (FF) e Praia e duna (PD), segundo agrupamento apresentado por Seplan (2012). Com a base de dados atualizada foi então calculada a área queimada para cada classe de cobertura e uso do solo em cada área de estudo.

3.8 Erros de omissão e comissão por classe de cobertura e uso do solo

Os erros apresentados pelas metodologias semiautomáticas foram distribuídos de acordo com a sua ocorrência em cada classe de cobertura e uso do solo. Este resultado foi obtido através da intersecção entre as cicatrizes da referência, do método semiautomático e da classe de cobertura e uso do solo foi possível identificar em quais classes ocorreram os erros.

Com relação aos erros de omissão e comissão, o primeiro se refere as áreas onde a metodologia referência identificou uma cicatriz de queimada, mas que as demais metodologias omitiram, enquanto que a comissão se refere as áreas que foram identificadas pelas metodologias em teste e que não correspondem a uma cicatriz na metodologia referência (MELCHIORI et al., 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a área 1, os resultados encontrados na tabela 5 mostram que a área queimada identificada pela metodologia referência foi de 205.751,95 ha, enquanto que os métodos semiautomáticos identificaram de 174.586,77 a 259.078,02 ha, obtidos pelos métodos M6 (dNBR, NBRpós, dMIRBI_{mod}) e M2 (dNBR, NBRpós, dMSAVI) respectivamente. Esses métodos apresentaram também a menor e maior porcentagem de acerto em relação aos dados de referência, variando de 65,83 a 83,01 %.

Os erros de omissão variaram de 16,99 % no M2 (dNBR, NBRpós, dMSAVI) a 34,17 % no M6 (dNBR, NBRpós, dMIRBI_{mod}), já os erros de comissão foram de 14,61 a 34,08 %, nos métodos M5 (dNBR, NBRpós, dBAIM_{mod}) e M2 (dNBR, NBRpós, dMSAVI) respectivamente. O valor *Kappa*, o qual avalia a qualidade do método em identificar as áreas queimadas, variou de 0,65 (M2) a 0,78 (M3 e M4), sendo considerada muito boa.

Tabela 5. Área queimada, em hectares, identificada por cada método, área de intersecção entre o método e a referência (manual), erros de omissão e comissão e índice *Kappa* para a área 1.

Método	AQ (ha)	% acerto	OM (%)	CO (%)	<i>Kappa</i>
Referência	205.751,95	-	-	-	-
M1	202.944,47	76,92	23,08	22,02	0,70
M2	259.078,02	83,01	16,99	34,08	0,65
M3	178.636,83	74,14	25,86	14,61	0,78
M4	193.889,31	75,80	24,20	19,57	0,78
M5	196.957,67	77,15	22,85	19,40	0,72
M6	174.586,77	65,83	34,17	22,42	0,72

Nota: M1: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dNDVI; M2: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dMSAVI; M3: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dSAVI; M4: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dGEMI; M5: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dBAIM_{mod}; M6: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dMIRBI_{mod}; AQ (ha): área queimada identificada por cada método; Acerto (%): porcentagem de área congruente entre os métodos testados e a metodologia de referência; CO (%): erros de comissão; OM (%): erros de omissão e *Kappa*: índice *Kappa*.

A tabela 6 mostra os resultados para a área 2, nos quais pode ser observado que a metodologia de referência quantificou 46.671,91 ha de área queimada, sendo utilizado na validação e comparação com os métodos testados. A área queimada identificada pelos métodos semiautomáticos variou de 45.922,20 a 71.232,29 ha, os quais foram obtidos pelos métodos M2 (dNBR, NBRpós, dMSAVI) e M1 (dNBR,

NBRpós, dNDVI) respectivamente, sendo dois métodos que utilizaram as bandas do vermelho e do infravermelho próximo.

Em relação a porcentagem de acerto dos métodos avaliados, obtida pela interseção do método testado e da referência, houve um acerto de 62,88 a 76,28% registrado pelos métodos M4 (dNBR, NBRpós, dGEMI) e M3 (dNBR, NBRpós, dSAVI) respectivamente. Esse resultado de interseção mostra a capacidade dos métodos em delimitar corretamente as cicatrizes de queimadas.

Os erros de omissão variaram de 23,72 a 37,12%, identificados nos métodos 3 (dNBR, NBRpós, dSAVI) e 4 (dNBR, NBRpós, dGEMI), em que o método 3 apresentou maior porcentagem de acerto e menor erro de omissão e o método 4, menor área de acerto e maior omissão. Já os erros de comissão variaram de 26,60 a 55,09%, identificados nos métodos M2 (dNBR, NBRpós, dMSAVI) e M1 (dNBR, NBRpós, dNDVI), respectivamente.

O valor *Kappa*, calculado para medir a acurácia dos mesmos, variou de 0,61 a 0,87, obtido pelos métodos M4 (dNBR, NBRpós, dGEMI) e M6 (dNBR, NBRpós, dMIRBI_{mod}), respectivamente.

Tabela 6. Área queimada, em hectares, identificada por cada método, área de interseção entre o método e a referência (manual), erros de omissão e comissão e índice *Kappa* para a área 2.

Método	AQ (ha)	% acerto	OM (%)	CO (%)	<i>Kappa</i>
Referência	46.671,91	-	-	-	-
M1	71.232,29	68,5	31,46	55,09	0,70
M2	45.922,20	72,2	27,78	26,60	0,79
M3	55.714,74	76,3	23,72	36,10	0,81
M4	50.722,99	62,9	37,12	42,14	0,61
M5	49.521,24	73,2	26,80	31,01	0,71
M6	46.164,85	72,4	27,62	26,83	0,87

Nota: M1: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dNDVI; M2: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dMSAVI; M3: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dSAVI; M4: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dGEMI; M5: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dBAIM_{mod}; M6: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dMIRBI_{mod}; AQ (ha): área queimada identificada por cada método; Acerto (%): porcentagem de área congruente entre os métodos testados e a metodologia de referência; AQ (ha): área queimada identificada por cada método; Acerto (%): porcentagem de área congruente entre os métodos testados e a metodologia de referência; CO (%): erros de comissão; OM (%): erros de omissão e *Kappa*: índice *Kappa*.

Para a área 3, como observado na tabela 7, a metodologia de referência quantificou 128.351,50 ha de área queimada. Enquanto que, a área queimada identificada pelos métodos semiautomáticos variou de 151.468,06 a 179.232,27 ha,

os quais foram obtidos pelos métodos M2 (dNBR, NBRpós, dMSAVI) e M3 (dNBR, NBRpós, dSAVI) respectivamente, em que os dois métodos utilizaram as bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Em relação à percentagem de acerto dos métodos avaliados, obtida pela intersecção dos mesmos com a referência, houve um acerto de 85,54 a 92,46 %, registrado pelos métodos M5 (dNBR, NBRpós, dBAIMmod) e M3 (dNBR, NBRpós, dSAVI), respectivamente.

Os erros de omissão variaram de 7,54 a 14,46 %, identificados nos métodos M3 (dNBR, NBRpós, dSAVI) e M1 (dNBR, NBRpós, dBAIMmod) respectivamente, enquanto que os erros de comissão variaram de 22,17 a 33,79 %, identificados pelos métodos M2 (dNBR, NBRpós, dMSAVI) e M3 (dNBR, NBRpós, dSAVI). Em relação à percentagem de acerto, o método 3 além de apresentar maior valor de acerto, apresentou menor erro de comissão.

O valor *Kappa* foi calculado para cada método, visando medir a acurácia dos mesmos, em que foi possível observar variação entre 0,70 a 0,89, obtido pelos métodos 5 (dNBR, NBRpós, dBAIM_{mod}) e 6 (dNBR, NBRpós, dMIRBI_{mod}), respectivamente, que são classificados como muito bom a excelente.

Tabela 7. Área queimada, em hectares, identificada por cada método, área de intersecção entre o método e a referência (manual), erros de omissão e comissão e índice *Kappa* para a área 3.

Método	AQ (ha)	% acerto	OM (%)	CO (%)	<i>Kappa</i>
Referência	128.351,50	-	-	-	-
M1	162.859,98	90,60	9,40	28,60	0,86
M2	151.468,06	91,85	8,15	22,17	0,88
M3	179.232,27	92,46	7,54	33,79	0,85
M4	159.275,99	90,30	9,70	27,23	0,85
M5	165.334,79	85,54	14,46	33,59	0,70
M6	154.588,63	92,41	7,59	23,27	0,89

Nota: M1: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dNDVI; M2: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dMSAVI; M3: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dSAVI; M4: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dGEMI; M5: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dBAIM_{mod}; M6: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dMIRBI_{mod}; AQ (ha): área queimada identificada por cada método; Acerto (%): percentagem de área congruente entre os métodos testados e a metodologia de referência; CO (%): erros de comissão; OM (%): erros de omissão e *Kappa*: índice *Kappa*.

Vários trabalhos utilizando índices espectrais para discriminação de áreas queimadas (e.g. VAN WAGTENDONK et al., 2004; KEY e BENSON, 2006; MILLER et al., 2009), constataram que o dNBR e NBR se sobressaem em relação aos outros

índices devido em sua essência trabalhar com as bandas do infravermelho próximo e o infravermelho de ondas curtas.

A utilização de índices espectrais na identificação de áreas queimadas nessas regiões de Cerrado se mostrou eficiente, favorecendo o destaque das mesmas para posterior identificação, e apesar de possuir uma vegetação mais aberta, a saturação espectral não foi um fator limitante, o que permitiu reconhecer pequenas diferenças na quantidade relativa de biomassa verde (SCANLON et al., 2002; TODD et al., 1998).

Nesse trabalho não houve grande diferença entre os métodos, apresentando-se bem semelhantes na identificação de áreas queimadas, quanto a porcentagem de acerto e valor *Kappa*. No entanto, o método M2 se destacou para a área 1, com 83,01% de acerto e 0,65 de valor *Kappa*, o método M3, apresentou melhor desempenho na área 2, com 73,3% de acerto e 0,81 de valor *Kappa* e o método M6, com 92,46 % e valor *Kappa* de 0,85. Em geral quanto a porcentagem de acerto, essa foi bastante satisfatória e quanto à qualidade da classificação indicada pelo valor *Kappa*, foi considerada de muito boa a excelente segundo Landis e Koch (1977).

O método M6 que na sua composição leva a diferença do índice MIRBI_{mod}, foi proposto por Trigg e Flasse (2001) e adaptado para este trabalho, já havia se mostrado capaz de reduzir a confusão entre áreas queimadas e vegetação em trabalho realizado por Stroppiana et al. (2009). Com relação ao método M2, o qual utilizou o dSAVI, seu resultado é ligado ao fato de que esse índice inclui um fator de ajuste que está relacionado à direção da linha do solo, ou seja, a linha de regressão da reflectância do solo na relação banda 4 (R) e banda 5 (NIR) (BARET e GUYOT, 1991; QI et al., 1994; RONDEAUX et al., 1996). Em trabalho recente, Veraverbeke et al. (2012) constatou que o SAVI superou o NDVI em ambientes com um único tipo de vegetação, tornando-se claro que ele tenta minimizar a variabilidade de fundo.

Um outro fator que contribuiu para a semelhança entre os métodos e seu bom desempenho é o fato de ter utilizado para todos os métodos os índices dNBR e NBR, os quais em vários trabalhos utilizando índices espectrais para discriminação de áreas queimadas constataram estes se sobressaem em relação aos outros índices devido trabalhar com as bandas do infravermelho próximo e o infravermelho de ondas curtas (MILLER e THODE, 2007; VERAVERBEKE et al., 2012).

Na figura 3 é apresentada espacialmente a distribuição das áreas queimadas nas regiões estudadas, obtidas pela metodologia referência.

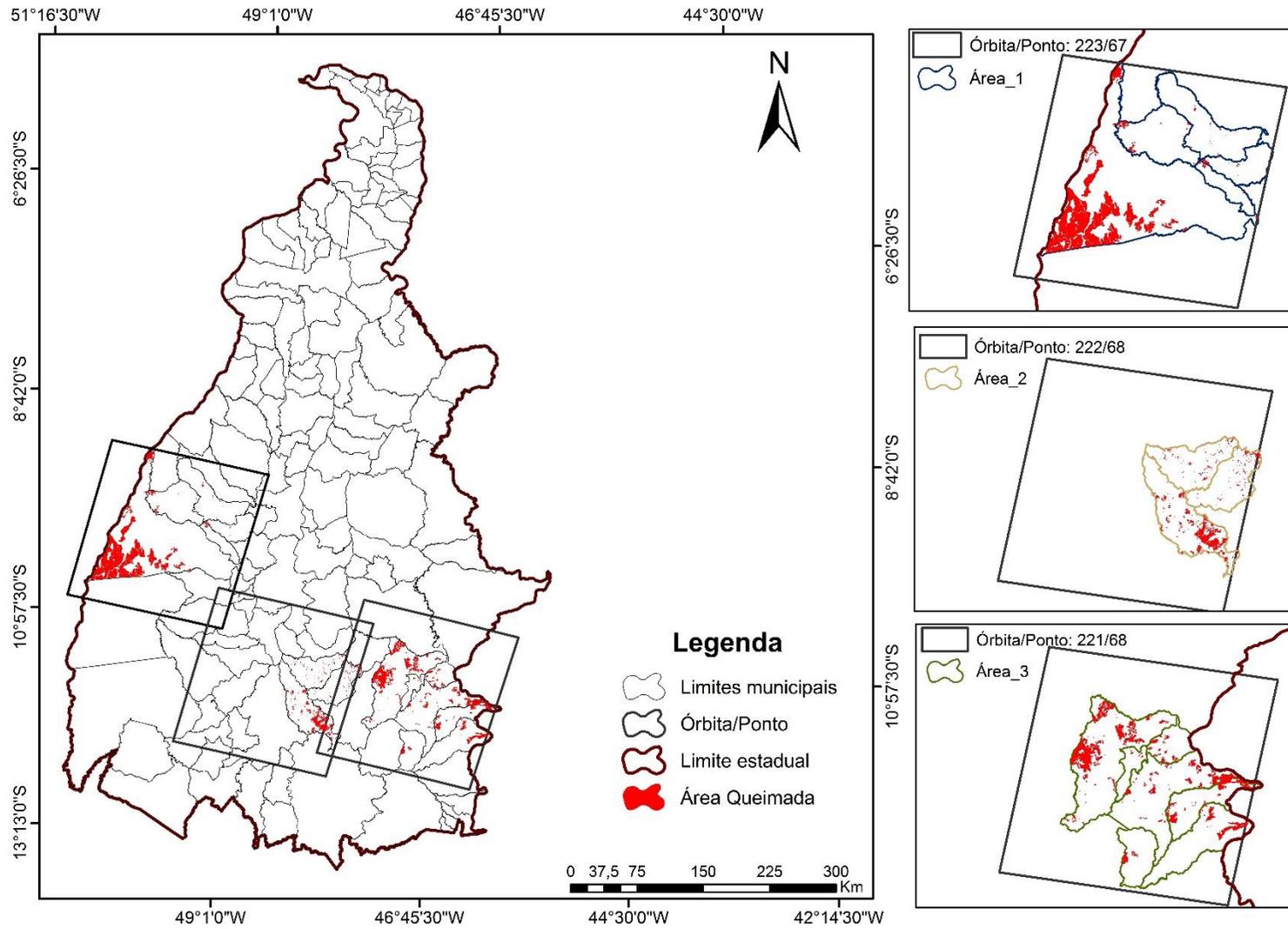


Figura 3. Mapa da distribuição espacial das áreas queimadas em cada área de estudo obtidas pela metodologia referênciada.

4.1 Distribuição dos polígonos de áreas queimadas por classe de tamanho

As cicatrizes foram divididas em classes de tamanho, como pode ser observado nas tabelas 8, 9 e 10, para permitir a avaliação da influência do tamanho das áreas queimadas na detecção utilizando índices espectrais, em razão da resolução espacial dos sensores utilizados e/ou pela baixa energia emitida nestes eventos.

Observa-se na tabela 8, que há maior frequência de polígonos na classe I, em áreas menores que 25 ha, que representam 80 % dos polígonos identificados pela referência, em média 92% entre os métodos M1 a M5 e 55 % para o método M6. Mesmo o maior número de polígonos se concentrando na área 1, estes representam em média 3% da área mapeada. A medida que aumenta a área dos polígonos, diminui o número de polígonos, nas classes II e III se encontram 4 e 13 % da área queimada respectivamente. E na classe IV (>1.600 ha), se encontram de 72 a 85,84 % da área queimada.

Tabela 8. Número de polígonos e área correspondente distribuídos por classes de tamanho para a área 1.

Método	Classe de tamanho							
	(I) < 25 ha		(II) 25 a 100 ha		(III) 100,01 a 1.600 ha		(IV) > 1.600 ha	
	nº polig.	área (ha)	nº polig.	área (ha)	nº polig.	área (ha)	nº polig.	área (ha)
Referência	806	5.630,88	138	7.040,43	56	15.697,87	11	172.006,38
M1	2.806	4.492,62	115	6.255,28	91	21.763,24	14	170.433,33
M2	4.163	7.846,09	189	9.724,87	107	29.860,68	17	211.646,38
M3	2.818	5.240,06	136	7.095,27	82	23.809,47	12	142.492,03
M4	3.413	6.580,17	131	6.709,07	87	28.217,55	13	152.382,52
M5	2.551	4.704,76	130	6.683,42	97	27.156,89	13	158.412,6
M6	370	6.737,71	180	9.201,62	106	32.816,13	14	125.831,31

Nota: M1: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dNDVI; M2: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dMSAVI; M3: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dSAVI; M4: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dGEMI; M5: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dBAIM_{mod}; M6: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dMIRBI_{mod}.

O maior número de polígonos se concentrou na classe I (menor que 25 ha), que representam em média cerca de 90 % do total de polígonos obtidos, no entanto, para esta mesma classe, o método referência identificou aproximadamente 77 % dos polígonos dentro dessa classe. Dessa forma, houve superestimação de polígonos nas áreas menores que 25 ha, contabilizando então em média 79 % de polígonos marcados a mais que pertencem a classe I.

Nas demais classes de tamanho, o número de polígonos diminuiu de acordo com o aumento da área, em que para as classes II, III e IV a média de número de polígonos foi de 14,0%, 8,0% e 0,3% para os polígonos de referência e de 6,0 %, 3,0 % e 1,0 % respectivamente, para os métodos avaliados. Em relação a área queimada, tanto para a referência quanto para os demais métodos, cerca de 40 % desta se encontra dentro da classe III (entre 100,00 e 1600 ha), seguido da classe IV, onde se encontram em média 34 % da área queimada.

Observa-se que a medida que diminuiu o número de polígonos há um aumento na área queimada. O número de polígonos e a distribuição da área queimada entre as classes são semelhantes em todos os métodos, tendo também uma grande semelhança em proporção com os dados de referência.

Tabela 9. Número de polígonos e área correspondente distribuídos por classes de tamanho para a área 2.

Método	Classe de tamanho							
	(I) < 25 ha		(II) 25 a 100 ha		(III) 100,01 a 1.600 ha		(IV) > 1.600 ha	
	nº polig	área (ha)	nº polig	área (ha)	nº polig	área (ha)	nº polig	área (ha)
Referência	536	3.657,91	98	4.676,12	57	19.038,95	2	19.273,92
M1	4.697	12.367,7	184	8.551,35	86	27.266,2	2	23.047,03
M2	2.256	5.606,31	93	4.601,09	66	20.610,39	1	15.104,41
M3	3.125	7.170,2	134	6.735,22	80	25.446,21	3	16.354,12
M4	2.186	4.045,54	108	5.349,04	66	22.409,06	4	18.919,35
M5	2.252	5.628,77	114	6.038,85	73	20.322,27	3	17.536,82
M6	2.253	5.274,96	100	5.092,32	65	19.116,95	1	16.680,62

Nota: M1: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dNDVI; M2: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dMSAVI; M3: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dSAVI; M4: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dGEMI; M5: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dBAIM_{mod}; M6: (R) dNBR (G) NBRpós (B) dMIRBI_{mod}.

Para todos os métodos testados, o maior número de polígonos se concentrou na classe I (menor que 25 ha) que representaram cerca de 90% do total de polígonos identificados, enquanto que nos dados de referência, os polígonos da mesma classe representaram em torno de 60 % do total. Dessa forma, foi possível observar superestimação em número de polígonos nas áreas menores que 25 ha, porém quando compara-se a área correspondente ao número de polígonos da classe I, ela representa em média apenas 3 % do total da área identificada tanto para os métodos quanto para a referência.

Nas demais classes de tamanho (II, III e IV), o número de polígonos diminuiu de acordo com o aumento da área, sendo que a média de número de polígonos para

estas classes foi de 20 %, 18 % e 1 % para os polígonos de referência e para os métodos foi de aproximadamente 4 %, 4 % e 1 % respectivamente. Em relação a área queimada, cerca de 25% da área obtida pelos métodos testados e 54 % para a referência se encontram na classe III (entre 100,00 e 1.600 ha). Na classe IV, os valores foram de 36 % da área pelo método de referência e 68% em média para os métodos testados.

Tabela 10. Número de polígonos e área correspondente distribuídos por classes de tamanho para a área 3.

Método	Classe de tamanho							
	(I) < 25 ha		(II) 25 a 100 ha		(III) 100,01 a 1.600 ha		(IV) > 1.600 ha	
	nº polig	área (ha)	nº polig	área (ha)	nº polig	área (ha)	nº polig	área (ha)
Referência	560	4129,49	179	8530,33	167	65892,57	10	43790,19
M1	2460	5036,14	126	6388,08	105	40717,81	17	110717,96
M2	2351	3667,06	89	4535,22	80	35444,33	15	107821,45
M3	3705	6713,15	148	6915,44	116	43959,25	18	121644,43
M4	2520	4349,59	101	5093,95	99	39091,05	17	110741,39
M5	3222	5656,14	164	8264,79	125	48617,75	13	102796,11
M6	1878	3729,23	106	5995,99	85	38685,99	14	106727,42

Nota: M1: (R) dNBR (G) NBRpos (B) dNDVI; M2: (R) dNBR (G) NBRpos (B) dMSAVI; M3: (R) dNBR (G) NBRpos (B) dSAVI; M4: (R) dNBR (G) NBRpos (B) dGEMI; M5: (R) dNBR (G) NBRpos (B) dBAlMmod; M6: (R) dNBR (G) NBRpos (B) dMIRBlmod

Segundo Soeres e Santos (2002), a distribuição das queimadas por classe de tamanho mostra a eficiência do combate aos incêndios, quanto maior a porcentagem de incêndios na classe de tamanho I maior a eficiência do controle. Assim como em Pereira (2009) e Gontijo (2011), este trabalho comprova que apesar de baixa frequência das queimadas de maior dimensão, estas são responsáveis por grande parte da área queimada total. No caso deste estudo, para os três locais cerca de 50 a 80% das áreas queimadas são maiores que 1.600 ha.

Dessa forma, é necessário investigar as causas dos grandes incêndios e trabalhar na prevenção dos mesmos. Estes resultados mostram a importância de direcionar esforços para concentrar as queimadas nas classes de menores tamanhos, diminuindo a área total queimada, e por consequência reduzindo os malefícios que elas representam ao meio ambiente, quando se tornam frequentes e recorrentes.

4.2 Reflectância das cicatrizes de queimadas

Para tentar compreender o comportamento espectral das áreas queimadas é necessário analisar os valores de reflectância das bandas espectrais antes (pré-fogo) e após as queimadas (pós-fogo) a fim de identificar em quais bandas há maior sensibilidade na resposta espectral das áreas atingidas pelo fogo. Os diferentes locais estudados permitiram observar a influência da cobertura vegetal na variabilidade das características espectrais das áreas queimadas.

O cálculo dos índices espectrais é realizado com base nos valores de reflectância das bandas dos sensores orbitais, nesse sentido as características da vegetação influenciam de forma direta nas variações temporais desses valores. Os pigmentos presentes nas folhas são responsáveis pelas mudanças no espectro do visível, pois a clorofila absorve a energia solar na região do azul e do vermelho e assim a cor verde é refletida com intensidade (PONZONI et al. 2012).

Geralmente, as áreas queimadas apresentam valores menores no espectro do visível e esses valores vão aumentando de acordo com o deslocamento para os comprimentos de ondas maiores, com esse aumento devido a características físico-química da vegetação queimada e a contribuição do solo (PEREIRA et al., 2007).

Dentro do observado na literatura, espera-se que o comportamento espectral das áreas queimadas seja explicado pela diminuição dos valores de reflectância no canal do NIR (infravermelho próximo) (PEREIRA, 1999; LIBONATI et al., 2010). No entanto, as condições de vento e chuva aliados a baixa densidade da biomassa queimada e solos arenosos, acarretam em um rápido desaparecimento das cinzas o que deixa o solo exposto e com valores altos de reflectância no NIR (PEREIRA et al., 2016). Na figura 4 estão apresentados os valores de reflectâncias dos polígonos de queimada nas bandas do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, para antes e depois do fogo nas três áreas estudadas.

Os valores na banda 4 para a área 1 foram de 0,025 antes do fogo e 0,059 após o fogo; para a área 2 foi de 0,060 antes do fogo e 0,070 após o fogo e; para a área 3 foram de 0,055 antes do fogo e 0,100 após o fogo (figura 4. a). Na banda 5 os valores para a área 1 variaram de 0,255 antes do fogo a 0,200 após o fogo; para a área 2 variaram de 0,240 antes do fogo a 0,190 depois do fogo (figura 4. b). E na banda 7 os valores foram de 0,028 antes do fogo e 0,060 depois do fogo para a área

1; de 0,040 antes do fogo e 0,062 depois do fogo para a área 2 e de 0,035 antes do fogo e 0,070 depois do fogo para a área 3 (figura 4. c).

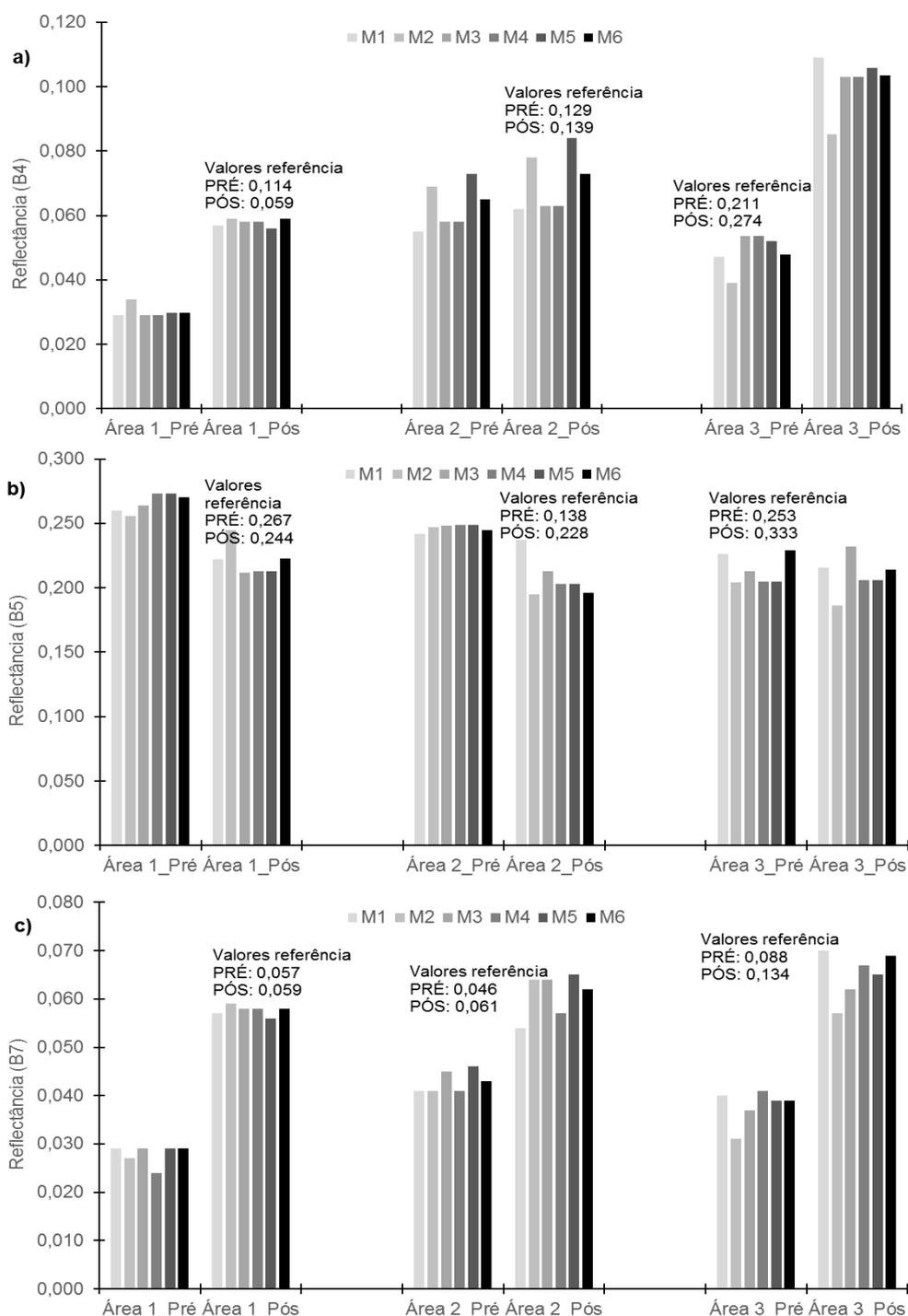


Figura 4. Reflectância dos polígonos de área queimada para antes e depois do fogo nos canais espectrais do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, para as três áreas estudadas: a) Reflectância dos polígonos de área queimada na região do vermelho (banda 4) para cada área de estudo; b) Reflectância dos polígonos de queimadas no infravermelho próximo (banda 5) para cada área de estudo e c) Reflectância dos polígonos de queimadas no infravermelho de ondas curta (banda 7) para cada área de estudo.

Neste trabalho, os valores de reflectância na região do vermelho (banda 4) apresentaram um acréscimo após o fogo, sendo confirmado por França (2004) que afirmou que no Cerrado, onde os incêndios ocorrem, em grande parte no período seco, a vegetação apresenta valores de reflectância superior aos normais na faixa do visível devido ao início da senescência foliar.

Quanto a região do infravermelho próximo (NIR), os valores tendem a diminuir após a ocorrência de uma queimada, em que essa região apresenta uma baixa absorção de energia solar pelas folhas e por consequência uma alta reflectância (PONZONI et al., 2012). O trabalho de França (2004) constatou um decréscimo desse valor após o evento de queimada no NIR em diferentes tipos de vegetação (FRANÇA, 2004), porém alguns resultados diferentes foram encontrados em trabalhos realizados por Pereira et al. (2016); Silva et al., (2005), onde constataram um aumento no valor de reflectância nesse canal, em região de savana.

Esse aumento pode ser explicado pela presença de solos secos e de cores esbranquiçadas (neossolos), material combustível fino, dispersão das cinzas e regeneração da vegetação (PEREIRA, 2017). No presente trabalho observou-se um decréscimo dos valores de reflectância na banda 5 (infravermelho próximo) nas áreas 1 e 2 e na área 3 o resultado se mostrou semelhante ao de Pereira et al. (2016) o qual constatou uma baixa variação nos valores de NIR para a região do Jalapão.

No comprimento de ondas do infravermelho de ondas curtas (SWIR), a reflectância é caracterizada pela presença de água na folha, dessa forma a perda de água contida nos tecidos das plantas determina o aumento da reflectância nesse canal após uma queimada (FRANÇA, 2004). Neste trabalho a banda 7 (infravermelho de ondas curtas) apresentou um acréscimo no valor de reflectância, corroborando com trabalho realizado por Pereira et al., (2016), onde foram identificadas pequenas mudanças desses valores, com um sutil acréscimo após a ocorrência de uma queimada. Vale ressaltar ainda sobre o espectro do SWIR que foi descrito por Koutsias et al. (2010), de que esse comprimento de onda não segue um padrão espectral único, sendo que o sinal espectral depende, sobretudo, do tipo de vegetação queimada.

4.3 Caracterização da área queimada por classe de cobertura e uso do solo

A tabela 11 mostra as classes de uso do solo e sua respectiva extensão dentro de cada área de estudo.

Tabela 11. Classes de cobertura e uso do solo em cada área de estudo.

Classes de Cobertura e Uso do Solo	A1 (223/67)		A2 (222/68)		A3 (221/68)	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Áreas antrópicas agrícolas (AAA)	501.560,72	32,27	185.760,02	33,96	199.029,92	15,70
Áreas antrópicas não agrícolas (ANA)	37.754,34	2,43	6.722,11	1,23	2.268,75	0,18
Cerrado Sentido Restrito (Csr)	561.954,80	36,15	205.272,84	37,53	378.623,58	29,86
Corpos D'Água Continental (CodC)	26.280,05	1,69	3.182,12	0,58	4.152,83	0,33
Formações campestres (FC)	29.691,04	1,91	68.141,72	12,46	526.867,38	41,55
Formações Florestais de Cerrado (FFC)	169.166,89	10,88	64.968,05	11,88	146.736,56	11,57
Formações Florestais (FF)	223.362,20	14,37	12.815,91	2,34	9.998,70	0,79
Praia e Duna (PD)	4.683,60	0,30	60,91	0,01	236,06	0,02
TOTAL	1.554.453,65	100	546.923,67	100	1.267.913,78	100

Na área 1, predomina o Cerrado sentido restrito e as Áreas antrópicas agrícolas (Agropecuária e Capoeira), compondo cerca de 68 % dessa área. Essas duas classes citadas também são predominantes na área 2, constituindo 71 % desse local. Já a área 3 é formada em 41 % pelas Formações campestres (Campo e Campo rupestre), seguido do Cerrado sentido restrito com 15,7 %.

As cicatrizes de área queimada obtidas pela metodologia referência foram associadas às classes de cobertura e uso do solo, onde pode-se analisar as classes mais atingidas pelo fogo. Na figura 5 é possível observar a porcentagem queimada distribuída por classe.

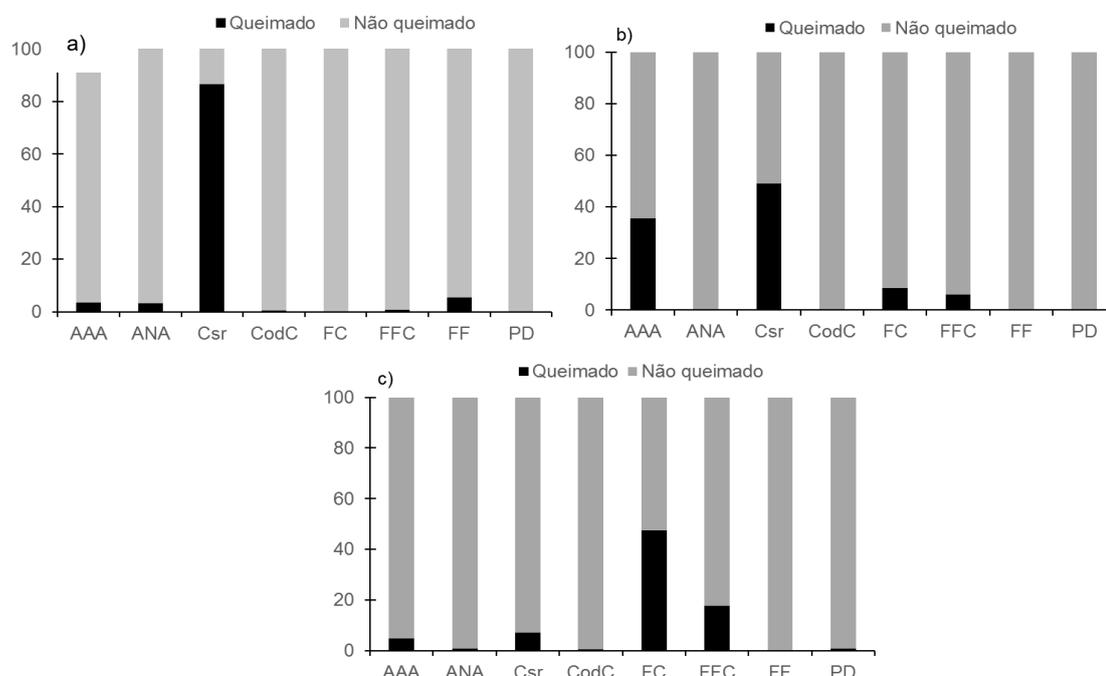


Figura 5. Área queimada por classe de cobertura e uso do solo: a) Área queimada referência distribuída por classe de cobertura e uso do solo para área 1; b) Área queimada distribuída por classe de cobertura e uso do solo para área 2; c) Área queimada distribuída por classe de cobertura e uso do solo para área 3.

As classes apresentaram extensão queimada proporcional à área que ocupam (Figura 5), sendo a área 1, o Cerrado sentido restrito a classe mais atingida pelo fogo, com cerca de 85 % das queimadas identificadas dentro dessa classe. Na área 2, as classes mais atingidas pelo fogo foram: Cerrado sentido restrito (49 %), Áreas antrópicas agrícolas (35 %), Formações campestres (8 %) e Formações florestais de cerrado (6 %). Já na área 3, as classes que mais foram atingidas pelo fogo foram as Formações campestres (47 %), Formações florestais de cerrado (17,5 %), Cerrado Sentido Restrito (7 %) e Áreas antrópicas agrícolas (4,7 %).

Segundo Coutinho (1984), os efeitos do fogo são maiores sobre a vegetação arbórea do cerrado, uma vez que as cinzas com alto teor de nutrientes são absorvidas pela estrutura herbácea, pois as raízes desse tipo de vegetação são mais superficiais.

As áreas de pastagens cultivadas são responsáveis por grandes incêndios e, conseqüentemente, pelos maiores registros de recorrências no bioma Cerrado devido a maior disponibilidade de material combustível fino com elevada inflamabilidade durante a estação seca (ARAÚJO, 2015). Como visto na figura 5, que mostra os dados da área 2, na classe de Áreas antrópicas agrícolas (AAA), que inclui áreas de cultivo, foram identificadas grande área queimadas nessa classe (em torno de 35 %).

Em trabalhos de mapeamento de áreas queimadas no Cerrado realizados por Santos, (2004); Soares e Santos (2002); Daldegan, (2012), foi constatado que as classes mais atingidas pelo fogo nessa região foram as Formações Savânicas, que incluem as fisionomias de Campo, Campo Rupestre, Cerrado Sentido Restrito em função de serem compostas em grande parte por espécies gramíneas e arbustivas, que são os combustíveis mais consumidos pelo fogo no Cerrado. Em trabalho de Araújo, (2015), realizado em 2002 no Cerrado brasileiro, também foram encontrados resultados semelhantes, com 47 % de áreas queimadas no Cerrado Sentido Restrito e 41 % nas Formações Florestais.

4.4 Erros de comissão e omissão por classe de cobertura e uso do solo

Além de obter a área queimada dentro das classes de cobertura e uso do solo, foi possível analisar também a distribuição dos erros em relação às classes, que possibilita entender em quais classes o método subestimou (omissão) e superestimou (comissão), decorrente de uma eventual confusão de espectro.

Na tabela 12 observa-se esses erros para cada método, distribuídos por classe de cobertura e uso do solo dentro da área 1. Os erros de comissão foram

maiores no Cerrado Sentido Restrito (de 35,34 a 58,71 %), seguido das Áreas antrópicas agrícolas (46,91 a 27,84 %) e os maiores erros de omissão forma encontrados no Cerrado Sentido Restrito (de 69,24 a 80,37 %), seguido das Formações Florestais (9,33 a 17,91 %).

Tabela 12. Erros de comissão e omissão de cada método distribuído de acordo com as classes de uso do solo para área 1.

Classes	Métodos											
	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	CO	OM	CO	OM	CO	OM	CO	OM	CO	OM	CO	OM
AAA	30,56	4,73	27,84	4,77	43,50	4,90	46,53	5,21	41,91	5,61	46,91	4,65
ANA	3,80	3,51	2,95	3,35	5,17	5,12	3,53	4,65	5,36	2,69	3,12	3,10
Csr	55,08	71,46	58,71	69,24	38,40	70,90	35,34	74,07	42,01	74,72	37,63	80,37
CodC	0,52	1,70	1,04	2,25	0,49	1,56	1,34	1,60	0,53	1,73	0,89	1,19
FC	1,37	0,14	0,99	0,21	2,41	0,12	2,82	0,16	1,32	0,18	2,16	0,09
FFC	3,00	2,02	2,69	2,11	4,69	1,48	4,90	1,47	3,24	1,71	3,99	1,19
FF	5,58	16,31	5,48	17,91	5,28	15,79	5,18	12,71	5,42	13,23	5,07	9,33
PD	0,10	0,14	0,30	0,16	0,07	0,14	0,37	0,13	0,19	0,14	0,23	0,09

AAA: Áreas antrópicas agrícolas; ANA: Áreas antrópicas não agrícolas; Csr: Cerrado Sentido Restrito; CodC: Corpos D'Água Continental; FC: Formações Campestres; FFC: Formações Florestais de Cerrado; FC: Formações Florestais; PD: Praia e Duna.

A tabela 13 mostra os erros dos métodos na área 2, a maior parte da comissão e se concentrou nas Áreas antrópicas agrícolas, variando de 29,83 % (M4) a 63,50 % (M5), seguido do Cerrado Sentido Restrito (de 1,36 a 40,96 %). A classe onde houve maior erro de omissão foi no Cerrado Sentido Restrito (44,97 a 46,53 %), seguido das Áreas antrópicas agrícolas (31,35 a 33,94 %).

Tabela 13. Erros de comissão e omissão de cada método distribuído de acordo com as classes de uso do solo para área 2.

Classes	Métodos											
	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	CO	OM	CO	OM	CO	OM	CO	OM	CO	OM	CO	OM
AAA	50,97	33,68	58,38	33,72	60,30	31,35	29,83	37,10	63,50	32,29	51,55	33,94
ANA	0,18	0,20	0,11	0,24	0,33	0,22	0,54	0,20	8,18	0,25	0,25	0,25
Csr	27,76	46,25	19,79	45,03	19,96	46,53	40,96	47,29	1,36	44,97	23,69	45,22
CodC	1,71	0,62	1,41	0,74	1,45	0,72	1,79	0,43	0,58	0,75	2,31	0,62
FC	11,49	11,08	13,73	12,00	11,22	13,07	13,79	9,46	4,77	13,27	13,59	12,15
FFC	6,73	7,96	5,48	8,02	5,61	7,88	10,26	5,41	17,60	8,18	7,90	7,52
FF	1,16	0,22	1,09	0,25	1,10	0,23	2,76	0,10	4,00	0,28	0,70	0,30
PD	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

AAA: Áreas antrópicas agrícolas; ANA: Áreas antrópicas não agrícolas; Csr: Cerrado Sentido Restrito; CodC: Corpos D'Água Continental; FC: Formações Campestres; FFC: Formações Florestais de Cerrado; FC: Formações Florestais; PD: Praia e Duna.

Para a área 3, os resultados são apresentados na tabela 14, os erros comissão se concentrou nas Formações Campestres representando quase metade das superestimações, variando de 42,61 a 51,03 %, em seguida nas Áreas Antrópicas agrícolas (de 12,31 a 38,04%) e no Cerrado Sentido Restrito (de 13,25 a 21,93 %). Os erros de omissão foram maiores, também nas Formações Campestres (de 25,80 a 50,06 %), seguido da das Formações Florestais de Cerrado (de 15,15 a 29,72 %) e Cerrado Sentido Restrito (de 22,59 a 27,94 %).

Tabela 14. Erros de comissão e omissão de cada método distribuído de acordo com as classes de uso do solo para área 3.

Classes	Métodos											
	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	CO	OM	CO	OM	CO	OM	CO	OM	CO	OM	CO	OM
AAA	28,91	6,44	12,31	11,14	21,37	7,38	28,46	6,04	38,04	6,91	17,20	8,02
ANA	0,05	0,03	0,13	0,02	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,04	0,00
Csr	17,25	27,94	21,93	23,51	17,37	22,59	15,44	27,89	13,25	26,57	20,50	23,26
CodC	0,69	0,06	0,18	0,07	0,27	0,07	0,51	0,05	0,63	0,04	0,56	0,08
FC	44,17	36,72	46,86	50,06	51,03	48,44	47,39	36,21	42,61	25,80	49,61	45,92
FFC	8,66	28,74	17,99	15,15	9,65	21,42	7,88	29,72	5,29	40,63	11,81	22,63
FF	0,25	0,06	0,57	0,05	0,23	0,08	0,24	0,07	0,14	0,05	0,26	0,08
PD	0,02	0,01	0,04	0,00	0,02	0,01	0,05	0,01	0,02	0,00	0,03	0,00

AAA: Áreas antrópicas agrícolas; ANA: Áreas antrópicas não agrícolas; Csr: Cerrado Sentido Restrito; CodC: Corpos D'Água Continental; FC: Formações Campestres; FFC: Formações Florestais de Cerrado; FC: Formações Florestais; PD: Praia e Duna.

Comparando as três áreas estudadas, é possível notar que os erros ocorrem proporcionalmente a área que ocupa. Sendo que os maiores erros de comissão são: Área 1: Cerrado Sentido Restrito (58,71 %), Área 2: Áreas antrópicas agrícolas (63,50 %), Área 3: Formações campestres (51,03 %). Os maiores erros de omissão são: Área 1: Cerrado Sentido Restrito (80,37 %), Área 2: Cerrado Sentido Restrito (46,53 %), Área 3: Formações campestres (50,06 %).

O comportamento espectral desses alvos pode explicar a presença dos erros. Em áreas mais densas pode haver uma queima incompleta do combustível disponível, havendo então numa mesma área (*pixel*) uma mistura de alvos, o que pode influenciar na identificação de áreas queimadas já que há uma maior facilidade em identificar pixels puros de área queimada resultado da queima completa da biomassa. As áreas antrópicas agrícolas, onde estão incluídas áreas de agropecuária e terra cultivadas são áreas que apresentam resposta espectral semelhante as áreas queimadas, devido à ausência de vegetação.

Dessa forma os erros podem ser atribuídos a mistura espectral de elementos que envolvem vegetação seca, parte de vegetação não queimada, solo exposto, dentre outros tipos de cobertura (EVA e LAMBIN, 1998; SMITH et al., 2010; VERAVERBEKE et al., 2012), assim o conjunto de pixels que formam uma cicatriz de queimada pode não ser identificado pela influência espectral desses outros alvos.

Além disso, o tempo decorrido desde o início de um incêndio até a sua detecção pelos sensores influencia no comportamento espectral do mesmo. Pois quanto maior o tempo na detecção maiores as alterações que essa determinada área pode sofrer após o fogo, podendo diminuir o sinal espectral deste. Sendo que o início do processo de rebrota também contribui para aumentar a mistura de alvos, bem como no comportamento espectral das áreas afetadas (CORONA et al., 2008; BOSCHETTI et al., 2010; EVA e LAMBIN, 1998; JUSTICE et al., 2002).

Os processos de deposição de cinzas e do carvão e o de rebrota estão relacionados como o tipo de vegetação atingida. Em regiões de Cerrado, a baixa disponibilidade de biomassa, comparado com regiões de florestas, faz com que haja pouca quantidade de cinzas e carvão, acarretando uma rápida remoção destes pela chuva ou pelo vento (PEREIRA, 2003). Em relação à rebrota no Cerrado, esta ocorre de forma rápida após o fogo, contribuindo para que estas áreas fiquem identificáveis por menor tempo na imagem de satélite (PEREIRA, 2003).

A redução da cobertura de carvão e conseqüente aumento na exposição do solo, pode comprometer o desempenho de metodologias que se baseiam no comportamento espectral típico da biomassa queimada, pois o seu comportamento é influenciado pelo comportamento do solo exposto.

De maneira geral, quanto maior for o tempo entre a ocorrência de um incêndio e o imageamento da área, menor será a probabilidade desta área ser identificada (CORONA et al., 2008), resultando em erros de omissão no mapeamento de áreas queimadas (HUDAK e BROCKETT, 2004). Este problema é ainda mais sério no caso das savanas, pois a permanência do sinal espectral é baixa nessas áreas e, portanto, o bom desempenho da identificação de áreas queimadas se torna dependente de imageamentos frequentes (PEREIRA, 2003).

5 CONCLUSÕES

A análise dos resultados desse trabalho permitiu concluir que:

- Os índices espectrais analisados apresentaram resultados satisfatórios na identificação de cicatrizes de queimadas, devido a porcentagem de acerto maior que 70 % nas três áreas estudadas, sendo que houve um destaque dos métodos na área 3 com porcentagem de acerto de 85 a 90 %.
- Em relação ao tamanho das queimadas, essas apresentaram maior número com área menor que 25 ha, porém representam em média apenas 5% da área total queimada, sendo que cerca de 70 a 80 % da área total de polígonos de queimada são de grande extensão.
- As classes de cobertura e uso do solo apresentaram extensão queimada proporcional à área que ocupam em cada local, sendo que na área 1 e 2 o Cerrado Sentido Restrito foi o mais atingido e na área 3 as Formações Campestres.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, F.M. de. **Avaliação das áreas queimadas no bioma Cerrado: proposições para o monitoramento e conservação**. 2015, 143p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) — Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.
- BANNARI, A.; MORIN, D.; BONN, F.; HUETE, A.R. A review of vegetation indices. **Remote Sensing Reviews**, v.13, p.95-120, 1995.
- BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, v.35, p.161-173, 1991.
- BASTARRIKA, A. **Cartografía automática de área queimada a nivel local regional mediante algoritmos de contexto espacial**. 2009. 283p. Tese (Doctorado de Cartografía, S.I.G. y Teledetección) - Universidad de Alcalá, Alcalá HERNANDES, 2009.
- BASTARRIKA, A., CHUVIECO, E., MARTÍN, M.P. Automatic burned land mapping from MODIS time series images: assessment in Mediterranean ecosystems. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.49, n.9, p.3401-3413, 2011.
- BASTARRIKA, A.; ALVARADO, M.; ARTANO, K.; MARTINEZ, M.P.; MESANZA, A.; TORRE, L.; RAMO, R.; CHUVIECO, E. BAMS: a tool for supervised burned area mapping using Landsat data. **Remote Sensing**, v.6, p.12360-12380, 2014.
- BOSCHETTI, L.; ROY, D.P.; JUSTICE, C.O.; HUMBER, M.L. MODIS-Landsat fusion for large area 30 m burned area mapping. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.161, p.27-42, 2015.
- BOSCHETTI, M.; STROPPIANA, D.; BRIVIO, P.A. Mapping burned areas in a Mediterranean environment using soft integration of spectral indices from high-resolution satellite images. **Earth Interactions**, Boston, v. 14, p. 1-20, 2010.
- CAMPBELL, J.B. **Introduction to Remote Sensing**. 2ed. New York: The Guilford Press, 1996. 622p.
- CÂNDIDO, P.A. **Mapeamento de cicatrizes de queimadas na região do Parque Estadual do Jalapão em 2007, 2008 e 2009**. INPE. São José dos Campos, 2014.
- CARVALHO-JÚNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R.; SILVA, C.; GOMES, R. Standardized time-series and interannual phenological deviation: New techniques for burned area detection using long term MODIS-NBR dataset. **Remote Sensing**, v.7, p.6950-6985, 2015.

CENTENO, J.A.S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. Universidade Federal do Paraná – Departamento de Geomática. Curitiba: UFPR, 2003. 210p.

CHEN, S.C.; SHIMABUKURO, Y.E. The mapping of burned area in forest by IMAGE-100. In: **Un regional seminar on the use of satellite technology for disaster application**, 1979, São José dos Campos. Proceedings... São José dos Campos: INPE, p.1-9, 1979.

CHENG, Y. Mean shift, mode seeking, and clustering. **IEEE Trans**, Toronto, v.17, p.790-799, 1995.

CHU, T.; GUO, X. Remote sensing techniques in monitoring post-fire effects and patterns of forest recovery in boreal forest regions: a review. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.6, p.470-520, 2014.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Ediciones Rialp, 2ed. 1996, 568 p.

CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G. Using cluster analysis to improve the selection of training statistics in classifying remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v.54, p.1275-1281, 1988.

COOKE, R. Human settlement of central America and northernmost South America (14,000–8000 BP). **Quaternary International**, v.49, p.177-190, 1998.

CORONA, P.; LAMONACA, A.; CHIRICI, G. Remote sensing support for post fire forest management. **iForest**, v.1, p.6-12, 2008.

COUTINHO, L. M. Aspectos ecológicos do fogo no Cerrado: II., as queimadas e a dispersão de sementes em algumas espécies anemocóricas do estrato herbáceo-subarbustivo. **Boletim de Botânica**, São Paulo, v.5, p.57-63, 1977.

COUTINHO, L. M. Ecological effects of fire in Brazilian Cerrado. In: B.J. HUNTLEY; B.H. WALKER. **Ecological of tropical savannas**. Springer Verlag, Berlin, p.273-291. 1982.

COUTINHO, L.M. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v.20, n.1, p.1-11, 2006.

CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, 1992, 170p.

DALDEGAN, G.A. **Análise espaço-temporal de queimadas em áreas nativas de Cerrado: RPPN Serra do Tombador, Cavalcante, GO**. 2012, 57p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2012.

DLUGOSZ, F.L. **Classificação orientada a regiões na discriminação de tipologias da floresta ombrófila mista usando imagens orbitais IKONOS**. 2005, 152p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

DUBININ, M.; POTAPOV, P.; LUSHCHEKINA, A.; RADELOFF, V.C. Reconstructing long time series of burned areas in arid grasslands of southern Russia by satellite remote sensing. **Remote Sensing Environment**, v.114, p.1638-1648, 2010.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M.N. **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília, DF: Editora da UnB, 1994. p.17-73.

EPTING, J.; VERBYLA, D.; SORBEL, B. Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+. **Remote Sensing of Environment**, v.96, p.328-339, 2005.

EVA, H.; LAMBIN, E.F. Burned area mapping in Central Africa using ATSR data. *International Journal of Remote Sensing*, v.19, p.3473-3497, 1998.

FELFILI, J.M.; SOUSA-SILVA, J.C.; SCARIOT, A. Biodiversidade, ecologia e conservação do Cerrado: avanços no conhecimento. SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J.C.; FELFILI, J.M. In: **Cerrado: Ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

FIDELIS, A.; PIVELLO, V.R. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos? **Biodiversidade Brasileira**, n.2, p.12-25, 2011.

FRANÇA, D.A.; FERREIRA, N.J. Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, GO. **Anais...**, p.3017-3023, 2005.

FRANÇA, H. 2001, 133p. **Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no cerrado com imagens AVHRR/NOAA**. Tese (Doutorado em Ciência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

FRASER, R.H.; LI, Z.; CIHLAR, J. Hotspot and NDVI differencing synergy (HANDS): A new technique for burned area mapping over Boreal Forest. **Remote Sensing of Environment**, v.74, p.362-376, 2000.

FRIZZO, T.L.M.; BONIZÁRIO, C.; BORGES, M.P.; VASCONCAELOS, H.L. Revisão dos efeitos do fogo sobre a fauna de formações savânicas do Brasil. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.365-379, 2011.

GAROFALO, T.D.F.; MESSIAS, C.G.; LIESENBERG, V.; BOLFE, E.L.; FERREIRA, M.C. Análise comparativa de classificadores digitais em imagens do Landsat 8 aplicados ao mapeamento temático. **Revista Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.7, p.593-604, 2015.

GIGLIO, L.; LOBODA, T.; ROY, D.P.; QUAYLE, B.; JUSTICE, C.O. An active fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. **Remote Sensing of Environment**, v.113, p.408-420, 2009.

GONZALES, R.C.; WOODS, R. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo, 2000. 508p.

HECHT, S.B. Kayapó savanna management: fire, soils, and forest islands in a threatened biome. In: **Amazonian dark earths: Wim Sombroek's vision**. WOODS, W. I.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; STEINER, C.; WINKLERPRINS, A.M.G.A.; REBELLATO, L. 1 ed. Springer, New York, p.143-161, 2009.

HUETE, A.R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.; GAO, X.; FERREIRA, L. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.195-213, 2002.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, v.25, p.295-309, 1988.

JENSEN, J.R. Introductory digital image processing. 2ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996, 318p.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**. 2ed. Traduzida. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 597p.

KEELEY, J.E.; RUNDEL, P.W. Fire and the miocene expansion of C4 grasslands. **Ecology Letters**, v.8, p.683-690, 2005.

KENNEDY, R.E.; COHEN, W.B.; SCHROEDER, T.A. Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.110, n.3, p.370-386, 2007.

KEY, C.H.; BENSON, N.C. Measuring and remote sensing of burn severity. In: NEUENSCHWANDER, L.F.; RYAN, K.C. **Proceedings Joint Fire Science Conference and Workshop**. Moscow: 3ed. University of Idaho and International Association of Wildland Fire. 1999, p.284.

KOUTSIAS, N. Spectral signatures of burned surfaces: evidence from hyperspectral remote sensing data. **Proceedings of hyperspectral**, Frascati, p.17-19, 2010.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington, v.33, p.154-174, 1977.

LENTILE, L.B.; HOLDEN, Z.A.; SMITH, A.M.S.; FALKOWSKI, M.J.; HUDAK, A.T.; MORGAN, P.; LEWIS, S.A.; GESSLER, P.E.; BENSON, N.C. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. **International Journal of Wildland Fire**, v.15, p.319-345, 2006.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. Crawfordsville: J. Wiley and Sons, 1994. 750p.

LOZANO, F.J.; SUAREZ-SEOANE, S., LUIS, E. Assessment of several spectral indices derived from multi-temporal Landsat data for fire occurrence probability modelling. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.107, p.533-544, 2007.

MARTÍN, M.P.; CHUVIECO, E. Mapping and evaluation of burned land from multitemporal analysis of AVHRR NDVI images. **Advances in Remote Sensing**, v.4, p.7-13, 1995.

MARTÍN, M.P.; GÓMEZ, I.; CHUVIECO, E. Burnt Area Index (BAIM) for burned area discrimination at regional scale using MODIS data. **Forest Ecology and Management**, v.234, p.S221, 2006.

MATHER, P.M. **Computer processing of remotely sensed images: An introduction**. 2ed. Chinchester: JOHN WILEY e SONS, 1999.

MELCHIORI, A.E.; CÂNDIDO, P.A. de.; LIBONATI, R.; SETZER, F.M.A.W.; JESUS, S.C. de.; FONSECA, L.M.G.; KORTING, T.S. Spectral indices and multi-temporal change image detection algorithms for burned area extraction in the Brazilian Cerrado. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p.643-650, 2015.

MELCHIORI, A. E.; SETZER, A. W.; MORELLI, F.; LIBONATI, R.; CÂNDIDO, P. A.; JESÚS, S. C. DE. A Landsat-TM/OLI algorithm for burned areas in the Brazilian Cerrado: preliminary results. In: Advances in forest fire research, 2014, Coimbra. **Anais...**, 2014.

MELO, M.M. **A confluência entre a ecologia do fogo e o conhecimento Xavante sobre o manejo do fogo no Cerrado**. 2007, 127p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

MILLER, J.D., THODE, A.E. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). **Remote Sensing of Environment**, New York, v.109, p.66-80, 2007.

MIRANDA, H.S.; BUSTAMANTE, M.M.C.; MIRANDA, A.C. The fire factor. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. 1ed. **The cerrados of Brazil**. New York: Columbia University Press, 2002. p.51-68.

MIRANDA, H.S.; SATO, M.N.; NETO, W.N.; AIRES, F.S. Fires in the Cerrado, the Brazilian savanna. In: M.A. Cochrane. **Tropical Fire Ecology: Climate Change, Land Use and Ecosystem Dynamics**. Heidelberg: Springer-Praxis, p.427-450, 2009.

MISTRY, J.; BERARDI, A.; ANDRADE, V.; KRAHÔ, T.; LEONARDOS, O. Indigenous fire management in the cerrado of Brazil: the case of the Krahô of Tocantins. **Human Ecology**, New York, v.33, p.365-386, 2005.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.

NASCIMENTO, I. V. Cerrado: o fogo como agente ecológico. **Territorium**, Lousã, v. 8, p. 25- - 36, 2001.

NASCIMENTO, P.S.R.; ALMEIDA FILHO, R. Utilização da técnica de segmentação em imagens TM/Landsat visando otimizar a técnica de interpretação visual. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996.

NORTON, J.; GLENN, N.; GERMINO, K.; WEBER, M.; SEEFELDT, S. Relative suitability of indices derived from Landsat ETM+ and SPOT 5 for detecting fire severity in sagebrush steppe. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.11, p.360-367, 2009.

NOVO, E.M.L. de M. **Sensoriamento remoto**. Princípios e aplicações. 2 ed. São Paulo, 1992. 308p.

OLIVEIRA, Y.M.M. de. **Investigation of remote sensing for assessing and monitoring the Araucaria forest region of Brazil**. 1999, 247p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Oxford, UK, 1999.

PARKS, S.A.; DILLON, G.K.; MILLER, C. A new metric for quantifying burn severity: The relativized burn ratio. **Remote Sensing**, v.6, p.1827-1844, 2014

PEREIRA, A.A.; CARVALHO, L.M.T.; LIBONATI, R.; ACERBI, F.W.J.; MORELLI, F. Avaliação de nove índices espectrais quanto a separabilidade entre queimadas e diferentes alvos. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. João Pessoa, PB. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p.3105-3112, 2015.

PEREIRA, A.A.; LIBONATI, R.; OOM, D.; CARVALHO, L.M.T.; PEREIRA, J.M. Avaliação de técnicas de compósitos multitemporais em imagens PROBA-V para o mapeamento de áreas queimadas. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2017, Santos, SP. **Anais...**, p.6336-6343, 2017.

PEREIRA, A.A.; TEIXEIRA, F.; LIBONATI, R.; MELCHIORI, E.; CARVALHO, L.M.T. Avaliação de índices espectrais para identificação de áreas queimadas no Cerrado utilizando dados Landsat TM. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v.68, p.1665-1680, 2016.

PEREIRA, J.M.C. Remote sensing of burned areas in tropical savannas. **International Journal of Wildland Fire**, v.12, p.259-270, 2003.

PEREIRA, J.M.C.; CHUVIECO, E.; BEAUDOIN, A.; DESBOIS, N. Remote sensing of burned areas: a review. In: CHUVIECO, E. **Remote sensing of burned areas: a review**. Universidad de Alcalá, Espanha, 1997.

PEREIRA, M.C.; SETZER, A.W. Spectral characteristics of deforestation fires in NOAA/AVHRR images. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v.14, p.583-597, 1993.

PESSOA, O.A.A. de. **Evolução temporal do comportamento espectral de área queimada em Formação Campestre do Cerrado**. 2014. 105p. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.

PINTY, B.; VERSTRAETE, M. GEMI - A nonlinear index to monitor global vegetation from satellites. **Vegetatio**, v.101, p.15-20, 1992.

PIVELLO, V.R. Fire management for biological conservation in the Brazilian Cerrado. In: MISTRY, J.; BERARDI, A. 1ed. **Savannas and dry forests – linking people with nature**. Ashgate, Hants. p.129-154. 2006.

PIVELLO, V.R.; COUTINHO, L.M. Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open Cerrado (Brazilian Savanna). **Journal of Tropical Ecology**, v.8, p.487-497, 1992.

PLENIU, M.; KOUTSIAS, N. Sensitivity of spectral reflectance values to different burn and vegetation ratios: A multi-scale approach applied in a fire affected area. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.79, p.199-210, 2013.

PONZONI, F.J.; LEE, D.C. L.; HERNANDEZ-FILHO, P. Avaliação da área queimada e da regeneração da vegetação afetada pelo fogo no PARNA de Brasília através de dados TM/Landsat. In: VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1986, Gramados. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p.615-621, 1986.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICH, T.M. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2.ed. 2012, 160p.

QI, J.; CHEHBOUNIDI, A.; HUETE, A.; KERR, Y.; SOROOSHIAN, S. A modified soil adjusted vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, v.48, p.119-126, 1994.

RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V.R. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. **Environmental Management**, v.26, p.675-684, 2000.

RICHARDS, J.A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. Berlin: Springer-Verlag, 1986. p.281.

RICHARDS, J.A; MILNE, A.K. Mapping fire burns and vegetation regeneration using principal components analysis. **International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'83)**, San Francisco, v.3, 1983.

RIVERA-LOMBARDI, R.J. **Estudo da recorrência de queimadas e permanência de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat**. 2003, 172p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, 2003.

RIVERA-LOMBARDI, R.J.; KRUG, T.; SANTOS, J.R. Permanência média de cicatrizes do fogo em diferentes tipos fisionômicos do cerrado brasileiro, utilizando dados do sensor TM/Landsat. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. GO. **Anais...**, v.12, p.3269-3276, 2005.

RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, M. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.55, p.95-107, 1996.

ROSOT, N.C. **Integração de imagens de sensores de microondas e ópticos para fins de mapeamento e classificação de reflorestamento no sul do Brasil**. 2001, 190p. Tese (Dourado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001.

ROUSE, W.; HAAS, R.H.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERT**. Washington, NASA: third earth resources technology Satellite-1 symposium, 1 ed. 1974, 309 p.

ROY, D.P.; BOSCHETTI, L.; TRIGG, S.N. Remote sensing of fire severity: assessing the performance of the normalized burn ratio. **Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE**, v.3, n.1, p.112-116, 2006.

ROY, D.P.; JIN, Y.; LEWIS, P.E.; JUSTICE, C.O. Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. **Remote Sensing of Environment**, v.97, p.137-162, 2005.

ROY, D.P.; LEWIS, P.E.; JUSTICE, C.O. Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data - a bi-directional reflectance model-based expectation approach. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.263-286, 2002.

SAMPAIO, C. da S. **Abordagem metodológica baseada nos dados multitemporais MODIS EVI/NDVI para classificação da cobertura vegetal na região do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros/GO**. 2007. 73p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SANCHES, I.D.; ANDRADE, R.G.; QUARTAROLI, C.F.; RODRIGUES, C.A.G. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p.7564-77571, 2011.

SANTOS, J.R. dos; AOKI, H. Monitoramento do Parque Nacional de Brasília através de dados orbitais. In: VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 1978, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1978. p.118-134.

SCANLON, T.M., ALBERTSON, J.D., CAYLOR, K.K.; WILLIAMS, C.A. Determining land surface fractional cover from NDVI and rainfall time series for a savanna ecosystem. **Remote Sensing of Environment**, v.82, p.376- 388, 2002.

SEPLAN – Secretaria do Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. 6 ed. Palmas: SEPLAN, 2012. 80p.

SETZER, A.; MORELLI, F.; RIVERA-LOMBARDI, R. Estimativa quinzenal de áreas queimadas. In: RUDORFF, B.F. T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, J.C. **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: A. S. Vieira, 2007, p.403-417.

SHIMABUKURO, Y.E.; MELLO, E.M.K.; MOREIRA, J.C.; DUARTE, V. Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia. São José dos Campos: INPE, 1997. 16p. (INPE-6147-PUD/029).

SILVA, J.M.N.; SÁ, A.C.L.; PEREIRA, J.M.C. Comparison of burned area estimates derived from SPOT-VEGETATION and Landsat ETM+ data in Africa: influence of spatial pattern and vegetation type. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.96, p.188-201, 2005.

SILVA, P.H.S. dos. **Deteção e análise de áreas queimadas por meio da normalização de séries temporais MODIS na região do Jalapão**. 2015. 82 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.

SMITH, A.M.S.; DRAKE, N.A.; WOOSTER, M.J.; HUDAK, A.T.; HOLDEN, Z.A.; GIBBONS, C.J. Production of Landsat ETM+ reference imagery of burned areas within Southern African savannahs: comparison of methods and application to MODIS. **International Journal of Remote Sensing**, v.28, p.2753-2775, 2007.

SMITH, A.M.S.; EITEL, J.U.H.; HUDAK, A.T. Spectral analysis of charcoal on soils: implications for wildland fire severity mapping methods. **International Journal of Wildland Fire**, v.19, p. 976-983, 2010.

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C.; SANTOS, J.F. Evolução do perfil dos incêndios florestais em áreas protegidas no Brasil, de 1983 a 2002. **Revista Floresta**, Curitiba, v.36, p.93-100, 2006.

SOARES, R.V.; SANTOS, J.F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. **Revista Floresta**, Curitiba, v.32, p.219-232, 1997.

SONG, C.; WOODCOCK, C.E.; SETO, K.C.; PAX-LENNEY, M.; MACOMBER, S.A. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? **Remote Sensing of Environment**, New York, v.75, p.230-244, 2001.

SPRING – Sistema de processamento de informações georreferenciados. **Processamento de imagens**. São José do Campos, v.2, 1998.

STROPPIANA, D.; BORDOGNA, G.; CARRARA, P.; BOSCHETTI, M.; BOSCHETTI, L.; BRIVIO, P.A. A method for extracting burned areas from Landsat TM/ETM+ images by soft aggregation of multiple Spectral Indices and a region growing algorithm. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.69, p.88-102, 2012.

TODD, S.W.; HOFFER, R.M.; MILCHUNAS, D.G. Biomass estimation on grazed and ungrazed rangelands using spectral indices. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.3, p.427-438, 1998.

TRIGG, S.; FLASSE, S. An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v.22, n.13, p.2641-2647, 2001.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J.R. dos. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: ASSAD, E.D. e SANO, E.E. Sistema de informações geográficas. 2ed. Brasília: Embrapa, p.351-371.

VERAVERBEKE, S.; HOOK, S.; HULLEY, G. An alternative spectral index for rapid fire severity assessments. **Remote Sensing of Environment**, v.123, p.72-80, 2012.

VERAVERBEKE, S.; HARRIS, S.; HOOK, S. Evaluating spectral indices for burned area discrimination using MODIS/ASTER (MASTER) airborne simulator data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.115, n.10, p.2702-2709, 2011.

VERSTRAETE, M.M.; PINTY, B. Designing optimal spectral indexes for remote sensing applications. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.34, p.1254-1265, 1996.

VICENTINI, K.R.C.F. **Análise palinológica de uma Vereda em Cromínia - GO**. 1993. 99p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1993.

XAUD, M.R.; EIPHANIO, J.C.N. Dinâmica do uso e cobertura da terra no sudeste de Roraima utilizando técnicas de detecção de mudanças. **Acta amazônica**, v. 44, n. 1, p.107-120, 2014.